ISSN 2282-6599

RIVISTA DI ECONOMIA POLITICA DEI TRASPORTI

Anno 2019
Numero 2

R.E.PO.T

Rivista Scientifica della Società Italiana di Economia dei Trasporti e della Logistica

La Regola della Metà nella valutazione economica delle infrastrutture: utilità e coerenza

Jérôme MASSIANI[1*]
Ila Maltese[2]

[1] *Università Milano Bicocca*

[2] *TRElab - Università degli Studi Roma Tre*

Parole Chiave: [Analisi Costi Beneficio, Regola della Metà; valutazione delle infrastrutture]

La Regola della Metà è un approccio coerente per la valutazione dei benefici degli utenti, alla base della pratica internazionale per la valutazione di progetti di trasporto. Si presta alla valutazione in contesto intermodale e con induzione di traffico. La Regola della Metà non dimezza la variazione dei costi degli utenti trasferiti da un modo ad un altro, ma calcola il totale dei loro benefici. Permette di rappresentare, con parsimonia di ipotesi, la variabilità intrinseca delle situazioni e delle preferenze fra utenti. È un approccio utile e insostituibile in contesti dove sono disponibili solo dati aggregati.

La Regola della Metà ha però proprietà contro-intuitive: può misurare il beneficio degli utenti trasferiti senza riferimento esplicito alla variazione di costo generalizzato di tali utenti. L'unica ipotesi formulata riguarda la distribuzione lineare dei benefici o, in altre parole, assume linearità delle funzioni di domanda.

Si propone qui una formalizzazione elementare del calcolo dei benefici degli utenti, che ipotizza realisticamente che una parte dei Costi Generalizzati di ogni utente non sia osservata dall'analista. Questo mette in evidenza una possibile prossimità fra la Regola della Metà e i modelli a Utilità Stocastica.

Le alternative alla Regola della Metà mostrano, del resto, importanti limiti. In particolare, il metodo più intuitivo, basato sulla variazione dei Costi Generalizzati, giunge a stime distorte e, a volte, di segno sbagliato. L'utilità della Regola della Metà permane dunque finché il Costo Generalizzato di ogni singolo utente non potrà/possa essere calcolato in maniera esatta.

Ringraziamenti: si ringraziano i membri del gruppo di lavoro Sipotra sui metodi dell'Analisi Costi-Benefici, costituito nel 2019, per i suggerimenti ricevuti sull'applicazione della regola della metà. Si ringrazia Alessio Stragliotto per commenti ricevuti su bozze di questo articolo.

* didier.massiani@unimib.it

1 Introduzione

In occasione del dibattito sull'Analisi Costi-Benefici (ACB) della "Torino-Lione" svoltosi nel 2019, è stata da più parti contestata l'applicazione della Regola della Metà. Molti economisti si sono stupiti di questa modalità di calcolo come se implicasse la considerazione della sola Metà dei benefici conseguiti dagli utenti grazie al miglioramento dell'infrastruttura. Eppure, la Regola della Metà è un approccio consolidato nell'economia dei trasporti ed è indicata come metodo di misura dei benefici degli utenti nelle più recenti Linee Guida Europee per la valutazione di progetti (DG Regio, 2014 p. 101 e seguenti). Se fosse un concetto errato, dunque, ci si dovrebbe chiedere se la maggior parte delle valutazioni effettuate in ambito trasportistico non sia errata fin dagli albori della disciplina. Infatti, la Regola della Metà risale al XIX secolo (Dupuit, 1844, riedito come Dupuit 1995), è stata finora applicata molto spesso nelle valutazioni, era già qualificata da "familiare" negli anni 70 (Neuburger, 1971, pag. 57) ed è tutt'oggi raccomandata nei manuali, sia in contesti monomodali sia intermodali (Button, 2006). Se fosse errata, ci si dovrebbe chiedere se è sbagliata la quasi totalità delle analisi svolte finora nel campo dei trasporti. Un'ipotesi meno preoccupante sarebbe che questa di calcolo sia stata applicata al di fuori dal proprio campo di validità, nel qual caso le sue ipotesi andrebbero analizzate con maggiore attenzione. In alternativa, andrebbe valutato se le critiche espresse non testimonino invece una mancata, o incompleta, comprensione del metodo.

Un tentativo di spiegazione della Regola è fornito nel quaderno 8 dell'Osservatorio per l'Asse Ferroviario Torino-Lione: "i benefici risultanti dal prodotto tra la variazione del traffico e la diminuzione del prezzo devono essere divisi per due, non disponendo di informazioni specifiche sulla variazione di utilità dei consumatori, si ipotizza che per tutti gli utenti le variazioni di surplus siano pari alla media tra il massimo e il minimo" p 86 (OAFTL, 2011, pag. 86).

Dieci anni dopo, lo stesso Osservatorio raccoglie invece diverse critiche avanzate a carico dell'ACB della Torino-Lione nella primavera 2019, alcune delle quali incentrate proprio sull'applicazione della Regola della Metà:

- "Il metodo utilizzato (…) stima il surplus del consumatore conteggiando le accise e i pedaggi pagati, ma divide per due il valore ottenuto, per una generalizzata quanto acritica applicazione della regola delle metà." (Cini, Siciliano, & Zucchetti, 2019).
- "Un euro in meno per i concessionari autostradali vale solo 50 centesimi come *risparmio dell'automobilista.* "(Cascetta, 2019)
- "I benefici sociali prodotti dai consumatori che si spostano dalla gomma al ferro valgono solo per metà (la cosiddetta "regola del mezzo", ovvero la regola per cui, per ottenere l'incremento di benessere, si stima il triangolo al di sotto della curva di domanda dividendo per la metà il valore ottenuto dal prodotto tra i risparmi unitari e il traffico deviato)" (Percoco & Tavoni, 2019).
- "Il tener conto delle accise applicando la Regola della Metà comporta che sono sempre considerate integralmente come "costo" e solo al 50% come "beneficio" introducendo una deformazione strutturale del risultato." Boitani (citato da OAFTL, 2019)

Altri testi si esprimono in maniera più prudente e riconoscono la validità di questa modalità di calcolo:

> *"Il tema è controverso e le stesse linee guida di organizzazioni internazionali, così come la letteratura in materia, esprimono posizioni non univoche; più*

> *precisamente, la Regola della Metà è applicata universalmente nella letteratura per una parte del surplus del consumatore, ma il trattamento dei benefici in termini di minore Costo Generalizzato derivante dallo spostamento da una modalità di trasporto all'altra non è univoco e pertanto non sembra condivisibile trattare come errore una metodologia applicata in vari contesti internazionali."*
> (Pasquali, 2019).

Un elemento che può spiegare queste posizioni è che la Regola della Metà comporta diversi aspetti contro-intuitivi. Ad esempio, nelle scelte intermodali, misura il beneficio degli utenti trasferiti considerando solo i Costi Generalizzati su un modo (o separatamente su due modi). Ciò appare contro-intuitivo: come si possono valutare i benefici di un cambiamento modale, utilizzando dati di "solo" uno fra i modi coinvolti? Un altro aspetto, che dimostra il carattere non ovvio del concetto, riguarda la difficoltà a rispondere alla seguente domanda: se la Regola della Metà non misura Metà dei benefici, allora di che cosa è la Metà?

Appare dunque utile analizzare in dettaglio la Regola della Metà per comprenderne la rilevanza e il campo di applicabilità, anche ponendola a confronto con altri metodi e con la debita considerazione per i vincoli di dati che gli analisti affrontano nella pratica. Scopo di questo articolo è dunque presentare il metodo, le sue modalità applicative, e valutarne pregi e limiti. Invece, il confronto con altri metodi alternativi (come il Logsum[1], la variazione di Costo Generalizzato[2] o altri) è proposto in un companion paper.

E' inoltre utile ricordare che la realizzazione dei "surplus potenziali" è considerata, in ultima istanza, come il meccanismo sottostante allo sviluppo economico e pertanto dovrebbe essere posta al centro dell'analisi degli economisti (Allais, 1989). Perciò, gli economisti devono proporre strumenti di misura del surplus che siano concettualmente coerenti e allo stesso tempo utilizzabili nella pratica. A questo proposito, l'analisi qui esposta integra quella recentemente proposta da Delle Site e Salucci (2018) sulle diverse misure di surplus degli utenti (misure hicksiane, variazioni equivalenti e compensative, misure marshaliane) e si concentra sulla Regola della Metà.

Il presente articolo evidenzia inoltre come la maggiore parte delle critiche rivolte alla Regola della Metà derivino da una mancanza di comprensione del metodo e che tale Regola è invece utile per rappresentare l'intrinseca varietà di situazioni e di preferenze fra utenti di un sistema di trasporto. Offre una misura coerente dei benefici di un progetto, e addirittura esatta nel caso in cui la domanda fosse lineare. Questo la differenzia dalla variazione di Costo Generalizzato, che è valida solo sulla base di dati totalmente disaggregati, dove fosse contabilizzato, senza errore di misura, il beneficio per ogni singolo utilizzatore del sistema di trasporto. In altri termini, a meno che non si disponga di un modello in cui il beneficio di ogni singolo utente o utilizzo possa essere singolarmente calcolato - condizione raramente verificata - la Regola della Metà permette, con parsimonia di ipotesi, di evitare errori importanti nella valutazione, legati all'inclusione o meno della variabilità delle situazioni individuali o, più precisamente, dei singoli spostamenti. E' vero che questa regola comporta una semplificazione legata alla linearità ipotizzata della funzione di domanda. Ma l'impatto di tale ipotesi appare difficile da stabilire in quanto i dati empirici difficilmente forniscono un criterio decisivo in materia. Più importante, l'esclusione di questa regola condurrebbe, in generale, a distorsioni importanti nella valutazione dei progetti.

---

[1] Il Logsum è una misura della variazione di benessere degli utenti di un sistema di trasporto, basato sulla massimizzazione dell'utilità stocastica con distribuzione IID Gumbel.
[2] Si tratta di un modello "naif" dove l'analista calcola la variazione di Costo Generalizzato fra diversi scenari.

L'articolo, in definitiva, chiarisce la maggiore parte dei malintesi esistenti sulla questione. Comprende due sezioni. Nella prima parte, si descrive come la regola della Metà consente di misurare i benefici netti degli utenti trasferiti. Nella seconda sono presentate le proprietà, a volte contro-intuitive e ingannevoli, di questa regola.

2 Come si giunge alla Regola della Metà?

In questa sezione, si presenta una formalizzazione che mostra come la regola della Metà consenta di misurare la totalità dei benefici degli utenti di un sistema di trasporto, anche in presenza di trasferimento modale e di domanda indotta.

Dopo una semplice formalizzazione, illustrata nella prima parte, la seconda parte mostra come derivarne la regola della Metà.

2.1 Un modello semplice

Si suppone che gli individui scelgano la modalità che offre maggiori vantaggi (o minori svantaggi) per un determinato spostamento. Se il beneficio di un determinato obiettivo di spostamento è dato (l'utilità è data dal recarsi, per esempio presso il luogo di lavoro o presso un qualsiasi esercizio commerciale), il confronto sarà effettuato fra i diversi modi tramite i Benefici Netti dello spostamento. Adottando le notazioni in termini di Utilità, U, e Disutilità, D, avremo un'utilità netta U-D_0 con il modo 0, U-D_1 con il modo 1. In questo caso, per confrontare i due modi, basta tener conto delle sole disutilità dei due modi, indipendentemente dall'utilità U.

Di solito, esistono due formalismi per rappresentare questa situazione di scelta.

1. Quello dei modelli di Massimizzazione dell'Utilità Stocastica (Random Utility Maximisation) secondo cui è preferita l'alternativa che offre la massima utilità indiretta (U_i), che si scompone in una parte osservata (V_i) e una parte non osservata (μ_i)
   - $U_i = V_i + \mu_i$
   - V_{ij} ha in generale - non sempre - una forma addizionale, dove compaiono diversi attributi e altrettanti coefficienti che ne rispecchiano i pesi nella scelta (Marcucci, 2011).
2. Una formulazione più semplice è quella dei Costi Generalizzati, dove l'individuo sceglie la modalità meno "costosa", in senso precedentemente definito, per effettuare uno spostamento. Questo approccio si rivela tanto più valido quanto più la misura di Costo Generalizzato sarà "informata", cioè quanto più sarà estesa a variabili come il comfort, la puntualità, etc. Il Costo Generalizzato dipende da variabili fisiche (durata del viaggio), economiche (prezzo pagato), ma anche comportamentali (tipicamente il valore del tempo o della puntualità).

La differenza fra questi approcci può apparire tenue, visto che formulando poche ipotesi si può passare facilmente dal primo al secondo: tale possibilità era stata considerata con attenzione nei primi sviluppi della teoria delle scelte binarie (Cox, 1970). I Costi Generalizzati si prestano, inoltre, all'inclusione di numerosi attributi, alcuni dei quali possono anche tradursi in una deduzione dei costi (ad esempio, se una modalità di trasporto è più conveniente di un'altra, questo ridurrà la disutilità associata alla durata dello spostamento).

Nella pratica, quando l'analista utilizza i Costi Generalizzati non è in grado di misurarli in maniera completa per ogni spostamento, ma li raggruppa per segmento, o per gruppo di spostamenti (ad esempio, tutti gli spostamenti su una stessa coppia Origine-Destinazione o per un determinato motivo, etc.). Possono essere perciò raggruppati in un singolo segmento utenti che in realtà sarebbero di fronte a offerte diverse (ad esempio, gli utenti di una determinata coppia Origine-Destinazione differiscono per il preciso punto di partenza e di arrivo del viaggio) o di preferenze diverse (all'interno di un singolo segmento, diversi utenti possono avere diversi valori del tempo). Questo punto, apparentemente banale, è quello da cui derivano la maggiore parte delle difficoltà che la Regola della Metà affronta in modo parsimonioso e coerente.

Nella sezione seguente, si esamina il beneficio degli utenti di un sistema di trasporto bimodale, quando l'investimento migliora una delle alternative di spostamento (chiamato a volte "modo di destinazione" poiché gli utenti si spostano dal modo originariamente scelto verso quello). In linea generale, il cambio di modo può determinare anche un miglioramento di riflesso dell'altro modo (tipicamente tramite decongestione). Per la concreta impossibilità di avere tutte le informazioni a livello di singolo spostamento individuale (ove il termine individuale si riferisce a ogni singolo spostamento, o comunque all'unità più disaggregata per il fenomeno trasportistico considerato), gli utenti (o gli spostamenti) sono raggruppati dall'analista per "segmenti" caratterizzati da una certa misura dei Costi Generalizzati. All'interno di ogni segmento, gli spostamenti possono avere, e molto probabilmente hanno, Costi Generalizzati diversi fra di loro.

A partire da queste premesse, nel prosieguo si illustra come si giunga alla Regola della Metà. Dapprima, si considera la situazione senza domanda indotta, per poi introdurla successivamente.

Notazioni

Si considerino due modi: 0 e 1, e due situazioni, lo status quo e un progetto che migliori uno dei due modi. Ci si concentri, inoltre, su un segmento I di popolazione, definito in coerenza con il modello utilizzato. Per il segmento I, gli utenti del modo 0 sono Q_{I0} senza progetto e Q'_{I0} con progetto; allo stesso modo sono definiti Q_{I1} e Q'_{I1} per il modo 1.

La variazione di domanda, per esempio (Q_{I0}-Q'_{I0}), combina due effetti:

- un trasferimento modale, TI, da 0 verso 1
- una domanda indotta, G_0, G_1 tali che:

$$(Q'_{I1} - Q_{I1}) = T_I + G_1$$
$$(Q'_{I0} - Q_{I0}) = -T_I + G_0$$

La domanda indotta si può anche esprimere nel seguente modo.

- per il modo 0:

$$G_0 = T_I - (Q_{I0} - Q'_{I0}) = T_I + (Q'_{I0} - Q_{I0}) \qquad \text{eq 1}$$

- per il modo 1:

$$G_1 = (Q'_{I1} - Q_{I1}) - T_I \qquad \text{eq 2}$$

Per definizione, la variazione del numero di utenti complessivi è uguale alla generazione di traffico.

$$\begin{aligned} G_0+G_1 &= T_I + (Q'_{I0} - Q_{I0}) + (Q'_{I1} - Q_{I1}) - T_I \qquad \text{eq 3} \\ &= (Q'_{I0} - Q_{I0}) + (Q'_{I1} - Q_{I1}) \\ &= (Q'_{I0} + Q'_{I1}) - (Q_{I0} + Q_{I1}) \end{aligned}$$

Costi generalizzati dei modi

Siano C_{I0}, C_{I1} le componenti osservate del Costo Generalizzato per i modi 0 e 1, per il segmento I mentre ε_{i0} ed ε_{i1} sono le componenti non osservate del Costo Generalizzato dello spostamento (o dell'individuo) i assegnati al segmento I, per modi 0 e 1.

Ad ogni spostamento nel segmento I, dunque, corrispondono i Costi Generalizzati seguenti.

	Senza progetto	Con progetto
Modo 0	$C_{I0}+\varepsilon_{i0}$	$C'_{I0}+\varepsilon_{i0}$
Modo 1	$C_{I1}+\varepsilon_{i1}$	$C'_{I1}+\varepsilon_{i1}$

Si potrebbe anche ipotizzare una formulazione più complessa, dove la parte non osservata del costo generalizzato fosse anch'essa alterata dal progetto. L'ipotesi operata semplifica invece il trattamento della questione. Proponiamo di mantenere questa ipotesi semplificatrice nel corpo dell'articolo, ma forniamo in allegato una trattazione che abbandona questa ipotesi.

Si suppone, inoltre, una situazione plausibile in cui:

- $C'_{I1} < C_{I1}$: il progetto riduce i Costi Generalizzati misurati del modo migliorato,
- $C'_{I0} \leq C_{I0}$: il progetto può ridurre i Costi Generalizzati misurati del modo alternativo,
- $(C_{I1} - C'_{I1}) > (C_{I0} - C'_{I0})$: il progetto riduce soprattutto i Costi Generalizzati dell'alternativa di progetto; anche l'altra modalità potrebbe migliorare ma verosimilmente in misura minore.

Benefici degli utenti

Il beneficio complessivo degli utenti include 5 componenti:

1. Il beneficio della domanda indotta per il modo 0
2. Il beneficio della domanda indotta per il modo 1
3. Il beneficio (in termini di riduzione di costo) degli utenti che rimangono sul modo 1,
   - Per un singolo utente:

$$C_{I1}+\varepsilon_{i1} - (C'_{I1}+\varepsilon_{i1}) = C_{I1} - C'_{I1} \qquad \text{eq 4}$$

   - Per l'insieme degli utenti:

$$Q_1 (C_{I1} - C'_{I1}) \qquad \text{eq 5}$$

4. Il beneficio (sempre in termini di riduzione di costo generalizzato) degli utenti che rimangono sul modo 0.
   - Per un singolo utente

$$C_{I0}+\varepsilon_{i0} - (C'_{I0}+\varepsilon_{i0}) = C_{I0} - C'_{I0} \qquad \text{eq 6}$$

   - Per l'insieme degli utenti:

$$Q_0 (C_{I0} - C'_{I0}) \qquad \text{eq 7}$$

5. Il beneficio degli utenti che si trasferiscono da 0 a 1

$$B = \sum_i (C_{I0}+\varepsilon_{I0}) - (C'_{I1}+\varepsilon_{i1}), \qquad \text{eq 8}$$

In alcune situazioni, sarà utile scrivere questa equazione come:

$$B = \sum_i [(C_{I0}+\varepsilon_{i0}) - (C'_{I0}+\varepsilon_{i0}) + (C'_{I0}+\varepsilon_{i0}) - (C'_{I1}+\varepsilon_{i1})] \qquad \text{eq 9a}$$

$$B = \sum_i [(C_{I0}+\varepsilon_{i0}) - (C'_{I0}+\varepsilon_{i0})] + \sum_i [(C'_{I0}+\varepsilon_{i0}) - (C'_{I1}+\varepsilon_{i1})] \qquad \text{eq 9b}$$

In questo modo, raggruppando i termini a due a due, si mettono in evidenza due componenti del beneficio degli utenti trasferiti:

$$B = B_{00} + B_{01}$$

- B_{00} è il beneficio che gli utenti avrebbero ricevuto comunque, anche se fossero rimasti sul modo di origine. Se il progetto riduce il costo della strada di 1 minuto, il beneficio che gli utenti traggono dal progetto sarà almeno di 1 minuto.

  $$B_{00} = T_I.((C_{I0}+\varepsilon_{i0}) - (C'_{I0}+\varepsilon_{i0})) = T_I.(C_{I0}-C'_{I0}) \qquad \text{eq 10}$$

  Ma gli utenti potranno ottenere un beneficio superiore se cambiano modo.

- B_{01} è il beneficio che ricavano dall'aver cambiato modo (ovvero grazie al proprio trasferimento dal modo 0 al modo 1)

  $$B_{01} = \sum_i ((C_{I0}+\varepsilon_{i0}) - (C'_{I1}+\varepsilon_{i1})) \qquad \text{eq 11}$$

  $$B_{01} = \sum_i + ((C'_{I0}-C'_{I1})+(\varepsilon_{i0} - \varepsilon_{i1})) \qquad \text{eq 12}$$

È utile allora chiedersi come calcolare questo beneficio. Tale riflessione è oggetto della sezione successiva.

2.2 Calcolare il beneficio degli utenti, dai Costi Generalizzati alla Regola della Metà

Intuitivamente, si sarebbe tentati di calcolare il beneficio degli utenti trasferiti tramite la variazione del loro Costo Generalizzato osservato. Di seguito si illustra perché questo calcolo si riveli problematico e perché diventi necessario introdurre una diversa modalità di calcolo.

Quando vale la variazione di Costi Generalizzati: un caso improbabile?

Se l'analista omette (ε_{i0}, ε_{i1}) la componente inosservata dei costi generalizzati e invece considera solo C_{i0} e C'_{i1}, la variazione di Costo Generalizzato osservato degli utenti trasferiti si esprime come:

$$\sum_i (C_{i0} - C'_{i1})$$

Questa misura può essere confrontata con i benefici netti forniti da (eq 8). Si indichi con Δ la sovrastima che si verifica utilizzando la variazione dei Costi Generalizzati osservati per misurare i benefici netti.

$$\Delta = B - \sum_i (C_{I0} - C'_{I1}) = \sum_i ((C_{I0}+\varepsilon_{i0}) - (C'_{I1}+\varepsilon_{i1})) - \sum_i (C_{I0} - C'_{I1}) \qquad \text{eq 13}$$

Una condizione sufficiente

Una prima ipotesi che consentirebbe di rendere nulla questa sovrastima (cioè la variazione di beneficio netto coinciderebbe con la differenza dei Costi Generalizzati misurati) sarebbe che tutti gli utenti della classe I fossero identici e il loro Costo Generalizzato fosse perfettamente misurato con C_I senza, cioè, che vi siano componenti non osservate. Con questa ipotesi, si mette in evidenza una condizione sufficiente per cui la variazione di Costo Generalizzato applicata alla domanda trasferita fornisca, come sembrerebbe intuitivo, una misura esatta del beneficio netto degli utenti. Ossia:

$$\varepsilon_{i0} = \varepsilon_{i1} = 0 \quad \forall i. \qquad \text{eq 14}$$

Questo implica che Δ=0, ossia:

$$B = \sum_i (C_{I0} - C'_{I1}) = T_I\,(C_{I0} - C'_{I1}) \qquad \text{eq 15}$$

Risultato 1: se tutti gli individui (o spostamenti) di un segmento sono identici tra loro e il loro Costo Generalizzato è misurato senza errore, il beneficio totale è uguale alla variazione di Costo Generalizzato osservato applicato a tutti gli utenti trasferiti del segmento I.

Da questa condizione derivano una serie di corollari che mostrano quanto una simile contingenza sia assai poco probabile:

- Corollario 1: ogni individuo trae beneficio pari a quello dell'utente che trae il beneficio massimo;
- Corollario 2: se il Costo Generalizzato diminuisse di un qualunque valore inferiore a (C_{I0}- C'_{I1}), nessun utente si trasferirebbe;
- Corollario 3: tutti gli individui del segmento scelgono lo stesso modo - questo deriva dal fatto che sono identici fra loro.

Tali risultati appaiono poco realistici, a meno di supporre segmenti estremamente ristretti che rappresentino un unico spostamento trasferito; solo allora la condizione è verificata. Ma questa sembra una proprietà irraggiungibile per i modelli solitamente in uso (solo i modelli Agent Based, per altro poco diffusi nella pratica valutativa (Babakan, Alimohammadi, & Taleai, 2015), si avvicinano a questa situazione).

Una condizione necessaria e sufficiente

È anche possibile mettere in evidenza una condizione necessaria e sufficiente per la validità della misura tramite la variazione di Costo Generalizzato:

$$B = \sum_i \left[(\varepsilon_{i0} - \varepsilon_{i1}) + (C_{I0} - C'_{I1})\right] = \sum_i (C_{I0} - C'_{I1}) \qquad \text{eq 16}$$

vale se e solo se:

$$\sum_i (\varepsilon_{i0} - \varepsilon_{i1}) = 0 \qquad \text{eq 17}$$

In questo caso, il Costo Generalizzato fornisce una misura esatta. Ma, ancora una volta, vale la pena interrogarsi sull'interesse pratico di questa condizione, che potrebbe essere rispettata solo in modo fortuito e, inoltre, difficilmente verificabile.

Nel caso più realistico, dunque, si devono assumere condizioni meno restrittive.

Un caso più vicino alla realtà: la variazione dei Costi Generalizzati non basta

Il caso più realistico è quello in cui non si possono scrivere condizioni a priori sulla nullità delle componenti non osservate ε_i. La difficoltà risiede nel fatto che gli ε_i non sono osservati, e dunque diventa complicato calcolare la quantità di benefici B che dipende dagli ε_i.

Questo problema può essere risolto con la Regola della Metà, che consente di esprimere i benefici degli utenti trasferiti in funzione della sola differenza di Costo Generalizzato, per ogni segmento di domanda, e della quantità di utenti trasferiti. ε_i sembra sparire dunque dalle equazioni, ma in realtà è solo sostituita da un altro termine e questo fa comparire nei benefici la differenza (C_{I1}-C'_{I0}), circostanza che ha creato varie incomprensioni.

Per giungere a questa espressione, si procede in tre tappe:

1. Eliminare gli ε_i grazie alle condizioni sugli individui (o spostamenti) marginali, questo

consente di esprimere il beneficio netto degli utenti marginali, solo in funzione di C_{I0}, C'_{I0}, C_{I1}, C'_{I1}.

2. Grazie a un'ipotesi di distribuzione lineare della domanda, si può calcolare il beneficio di tutti gli utenti, inclusi gli inter-marginali[3], in funzione di C_{I0}, C'_{I0}, C_{I1}, C'_{I1}.
3. Raggruppare i termini dell'espressione ottenuta per ottenere la somma di due termini in funzione di (C_{I0} - C'_{I0}) l'una e di (C_{I1} - C'_{I1}) l'altra.

Dopo queste operazioni, è possibile esprimere il beneficio netto degli utenti trasferiti unicamente in funzione di T_I, (C_{I0} - C'_{I0}) e (C_{I1} - C'_{I1}). Nel caso in cui il modo 0 non sia migliorato, laddove cioè il beneficio associato fosse considerato trascurabile, i benefici netti dell'operazione si possono esprimere in funzione solo di (C_{I1} - C'_{I1}) e T_I, cioè proprio della sola variazione di costo generalizzato del modo "di destinazione" 1.

In sintesi, se si suppone una distribuzione lineare delle situazioni individuali (componente inosservata dei costi generalizzati) è possibile, tramite opportuna riscrittura, esprimere il beneficio con la Regola della Metà.

Beneficio degli utenti marginali

Un aiuto decisivo è fornito dall'osservazione delle condizioni marginali, ossia delle condizioni che rispettano gli individui o gli spostamenti in situazione d'indifferenza fra modi, sia "con" sia "senza" progetto. L'intuizione è che gli utenti marginali forniranno una misura del beneficio massimo e del beneficio minimo che gli utenti traggono dal trasferimento modale. Ad esempio, l'utente che, nella situazione senza progetto, è indifferente fra i due modi ha, per definizione, una "preferenza" non osservata per un modo (data da ε_{i0}-ε_{i1}) che è esattamente uguale alla differenza di Costo Generalizzato osservato fra modi (C_{I1}-C_{I0}). Si può allora rovesciare la prospettiva più intuitiva: per questo individuo, la differenza di Costi Generalizzati misurati non corrisponde al suo beneficio netto ma quantifica, la componente non osservata del Costo Generalizzato. Contrariamente a quanto suggerito dall'intuizione, (C_{I1}-C_{I0}) non misura il beneficio netto che l'utente potrebbe, nello scenario senza progetto, ottenere cambiando modo … per definizione, infatti, è un utente indifferente fra i due modi, ma quantifica la componente inosservata dei sui costi generalizzati.

Per gli utenti marginali, la differenza dei Costi Generalizzati misurati fra i modi non quantifica il beneficio che otterrebbero cambiando modo, ma quantifica la componente non osservata del Costo Generalizzato.

Quando, invece, si attua il progetto, muta C_{I1} (diventa C'_{I1}) ed eventualmente anche C_{I0} (diventa C'_{I0}). Il guadagno di un utente, in situazione iniziale d'indifferenza, è uguale al miglioramento del modo utilizzato rispetto al modo non utilizzato. Si suppone, in effetti, che con il progetto, l'altra componente dei suoi costi, quella non osservata, rimanga inalterata: $\varepsilon'_1 = \varepsilon_1$. Tale ipotesi sembra restrittiva, ma come mostrato in appendice, diventa solo laddove sussistano altre criticità nel modello.

[3] Sono individui *intermarginali* in quanto situati fra i due individui marginali definiti nelle situazioni con e senza progetto. Questa terminologia, ci sembra più giusta che l'uso del termine "inframarginale" o "intramarginale", che tende a essere utilizzata in presenza di un unico individuo marginale.

È possibile applicare lo stesso ragionamento su un altro individuo o spostamento marginale: quello indifferente tra i due modi nella situazione senza progetto.

In dettaglio, per i due utenti, a e b, in situazione d'indifferenza, valgono le seguenti soluzioni:

- Individuo a: in situazione d'indifferenza fra i due modi nella situazione senza progetto, ossia

$$C_{I1} + \varepsilon_{a1} = C_{Io} + \varepsilon_{a0} \qquad \text{eq 18}$$

Questa condizione si esprime in modo equivalente come uguaglianza fra differenze di componente osservata e componente inosservata dei Costi Generalizzati nella situazione senza progetto

$$C_{I1} - C_{I0} = \varepsilon_{a0} - \varepsilon_{a1} \text{ oppure } C_{I0} - C_{I1} = \varepsilon_{a1} - \varepsilon_{a0} \qquad \text{eq 19}$$

Il beneficio tratto dal progetto (eq 11) dall'individuo a è:

$$B_a = C_{I1} + \varepsilon_{a1} - (C'_{I1} + \varepsilon_{a1}) = C_{I1} - C'_{I1} \qquad \text{eq 20}$$

- Individuo b: in situazione d'indifferenza fra i due modi nella situazione con progetto, ossia:

$$C'_{I1} + \varepsilon_{b1} = C'_{I0} + \varepsilon_{b0} \qquad \text{eq 21}$$

Questa condizione si esprime, inoltre, come uguaglianza fra componente inosservata e componente osservata dei Costi Generalizzati nella situazione con progetto:

$$C'_{I0} - C'_{I1} = \varepsilon_{b1} - \varepsilon_{b0} \qquad \text{eq 22}$$

Il beneficio che b ottiene grazie al progetto è dato da (eq 11):

$$B_b = C'_{I0} - C'_{I1} + \varepsilon_{b0} - \varepsilon_{b1} \qquad \text{eq 23}$$

Con (eq 21) diventa

$$B_b = C_{I0} + \varepsilon_{b0} - (C'_{I0} + \varepsilon_{b0}) = C_{I0} - C'_{I0} \qquad \text{eq 24}$$

Si distinguano ora due casi in cui viene anche migliorato o meno il modo 0.

Nel caso più semplice (e forse raramente verificato) dove il modo alternativo non è migliorato ($C_{I0} - C'_{I0} = 0$), si ottiene un risultato semplice: $B_b=0$; l'utente non trae beneficio dal progetto: l'alternativa è al meglio equivalente a quella di cui già disponeva.

Invece, se il modo 0 migliora (per esempio tramite decongestione), l'individuo marginale b realizza un guadagno anche se, con l'investimento, è indifferente fra i due modi. In effetti, nella sua scelta fra le alternative, l'utente prende già in considerazione che il modo stradale è migliorato: al minimo, se non cambiasse modo, otterrebbe già questo beneficio.

In questo modo, si può fornire una formalizzazione matematica per il beneficio che gli utenti marginali traggono del progetto. Gli individui a e b rappresentano due casi estremi degli utenti che possono trasferirsi da un modo all'altro e traggono rispettivamente beneficio minimo e massimo del trasferimento modale. La maggior parte dei guadagni proverrà dagli altri utenti intermedi, di cui va calcolato il beneficio.

Beneficio degli individui o spostamenti inter-marginali

Il beneficio degli individui o spostamenti "inter-marginali", ossia che hanno preferenze intermedie fra quelle di a e b, dipende dalla distribuzione al loro interno della parte non osservata dei Costi Generalizzati. Dopo aver considerato il caso in cui tutti gli individui (o spostamenti) sono identici, si supponga ora, con maggiore realismo, una certa distribuzione degli ε_i. Si potrebbe pensare a una distribuzione Normale, Generalized Extreme Value tipo I o II, o Uniforme.

L'ipotesi di distribuzione Uniforme, in cui cioè gli utenti si distribuiscono omogeneamente fra questi due estremi, è alla base della regola della Metà, la presentiamo prima di realizzare un confronto con altre scelte.

Sulla base di questa ipotesi, il beneficio B_{01} che gli utenti traggono dal trasferimento si può calcolare in diversi modi:

- **Intuitivamente**: se si conosce il beneficio massimo e il beneficio minimo, e se gli utenti si distribuiscono omogeneamente fra questi due estremi, il beneficio medio sarà la media dei benefici B_a e B_b, ossia: ½ $(C_{I1} - C'_{I1} + C_{I0} - C'_{I0})$,
- **Analiticamente**: calcolando la somma dei termini: $(C_{I0}+\varepsilon_{i0})$ - $(C'_{I1}+\varepsilon_{i1})$, per gli individui (o spostamenti) da 1 a T_I.
- **Per integrazione**: In tutto rigore, questa soluzione non considera che il numero di utenti è definito su N+: non ci può essere, infatti, un numero non intero di utenti. (La stessa ipotesi è anche utilizzata nel calcolo con metodo geometrico);
- **Geometricamente**: come illustrato di seguito.

Approccio geometrico

Se si conoscono i benefici dei due utenti marginali e se si suppone che gli altri utenti si ripartiscano omogeneamente fra questi due estremi, è possibile rappresentare il beneficio de singoli utenti con l'ipotenusa di un triangolo rettangolo come rappresentato sulla Figura 1.

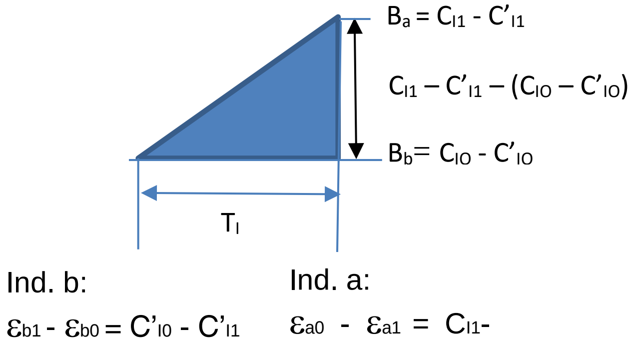

Figura 1 - Beneficio per il trasferimento degli utenti

Il beneficio legato al trasferimento modale si esprime come:

$$B_{01} = ½\ (B_a-B_b).T_I \qquad \text{eq 25}$$

Utilizzando l'espressione di B_a e B_b (eq 20 e 24)

$$B_{01} = ½\ [(C_{I1}- C'_{I1}) - (C_{I0}- C'_{I0})]T_I \qquad \text{eq 26}$$

Al beneficio che gli utenti trasferiti hanno grazie al trasferimento, si aggiunge il beneficio B_{00} che avrebbero ottenuto anche se non si fossero trasferiti, utilizzando eq 6 e eq 4.

$$B= B_{01} + B_{00} = ½\ [(C_{I1} - C'_{I1}) - (C_{I0} - C'_{I0})]T_I + (C_{I0} - C'_{I0})T_I \qquad \text{eq 27}$$

Il primo termine fra parentesi corrisponde al beneficio del trasferimento modale, ossia, il beneficio del miglioramento del modo di destinazione (eq 6), cui si sottrae il beneficio che si sarebbe comunque ottenuto rimanendo sul modo di origine (eq 4); anche se non si fosse attuato alcun trasferimento, ovvero mantenendosi sul modo di origine, infatti, si sarebbe comunque ottenuto un miglioramento grazie alla decongestione.

Questi benefici (Aree B) sono rappresentati in Figura 2 ove sono, inoltre, rappresentati i benefici degli utenti non trasferiti, ovvero che continuano a scegliere il proprio modo iniziale (Aree C; eq 5 e 7)

Sugli assi sono indicate le diverse grandezze coinvolte in termini sia di Costo Generalizzato osservato, sia di componente non osservata dei Costi Generalizzati, sfruttando le identità viste in precedenza:

$C_{I1} - C_{I0} = \varepsilon_{a0} - \varepsilon_{a1}$ oppure $C_{I0} - C_{I1} = \varepsilon_{a1} - \varepsilon_{a0}$ (eq 19)

$C'_{I0} - C'_{I1} = \varepsilon_{b1} - \varepsilon_{b0}$ (eq 22)

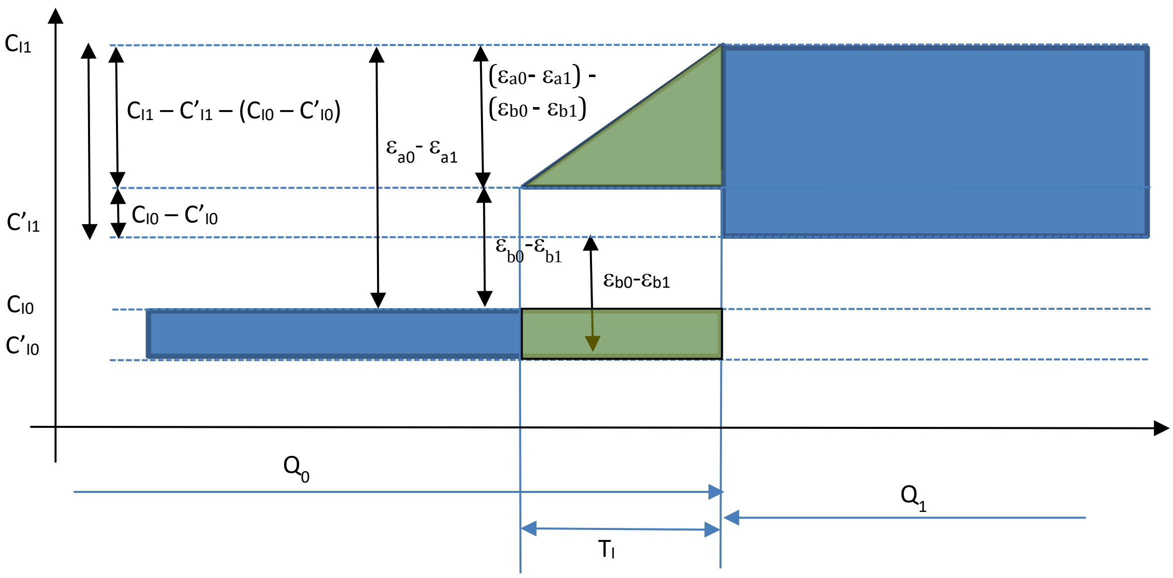

Figura 2 - Benefici complessivi degli utenti

Questa rappresentazione raggruppa un triangolo e un rettangolo (area verde).

È più convenzionale e spesso più comodo esprimere questo risultato come somma di due triangoli calcolati in base alla variazione di costi Generalizzati di ogni modalità, ossia: (C_{Im} - C'_{Im}) per m=0,1. B può essere così riscritto:

$$B = \frac{1}{2}(C_{I1} - C'_{I1})T_I + \frac{1}{2}(C_{I0} - C'_{I0})T_I \qquad \text{eq 28}$$

così da fare apparire due triangoli la cui base è la variazione di Costo Generalizzato su ciascuno dei due modi, come si può evincere da una rappresentazione più compatta (Figura 3).

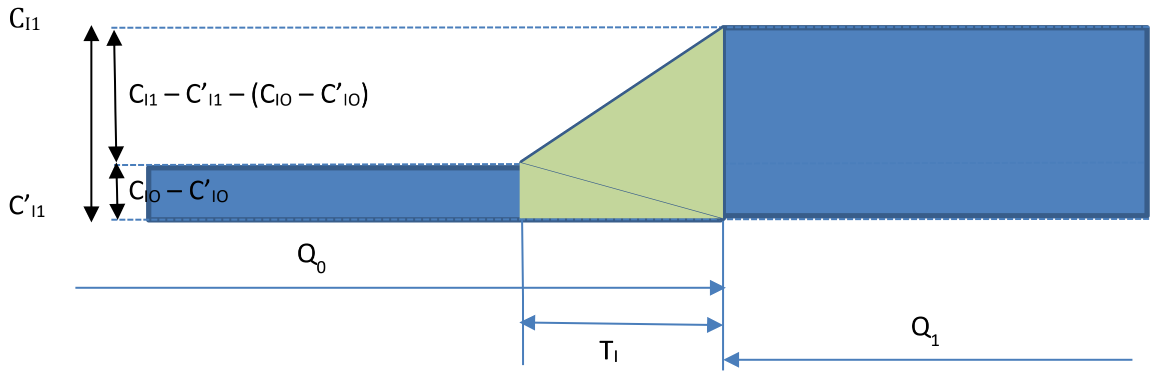

Figura 3 - Benefici complessivi degli utenti trasferiti (rappresentazione compatta)

Si ritrova una formulazione standard, della Regola della Metà.

A questo punto, sarà sufficiente introdurre la domanda indotta per ottenere una misura complessiva dei benefici di un progetto.

La domanda indotta

In presenza di domanda indotta, si creano ulteriori complicazioni. Si definisce domanda indotta l'insieme degli spostamenti che non avrebbero avuto luogo se non ci fosse stato il miglioramento considerato. Nel Riquadro 2 si riflette sul fatto che la nozione di domanda indotta sia spesso una comoda convenzione.

Riquadro 2 - La domanda indotta: una nozione solo apparentemente semplice

In molti contesti di trasporto urbano, la c.d. "domanda indotta" è costituita in gran parte da trasferimenti provenienti da modalità non motorizzate, tipicamente lo spostamento a piedi, che annovera una quota importante sul totale di spostamenti. Ad esempio, nell'Enquete Générale Transport 2010 della Regione Ile de France, 16 milioni di spostamenti sono quotidianamente realizzati a piedi. Anche i cambiamenti di destinazione possono generare spostamenti addizionali.

Allargando ancora la riflessione, la domanda indotta spesso è, in realtà, un trasferimento modale, in senso proprio, ma da tecnologie non trasportistiche verso tecnologie trasportistiche. Se, grazie al miglioramento del sistema di trasporto alcuni utenti scelgono di raggiungere alcune loro finalità (vedere un film, sbrigare una pratica amministrativa, parlare con un conoscente) spostandosi piuttosto che utilizzando altre tecnologie (guardare il film da casa, inoltrare una pratica per mezzo telematico, chiamare un amico), si tratta di un trasferimento di natura solo apparentemente diversa rispetto a un cambio modale. Gli individui hanno delle finalità, e scelgono fra varie tecnologie, alcune trasportistiche, altre no, per raggiungere queste finalità.

La distinzione fra trasferimento modale e domanda indotta (inteso come trasferimento da una tecnologia non trasportistica verso modalità trasportistiche) è dunque solo apparente, a meno che si voglia usare il termine "domanda indotta" per designare situazioni in cui bisogni o finalità nuove possono essere realizzate grazie al miglioramento infrastrutturale. Ma si tratterebbe di una definizione molto restrittiva rispetto a quella in uso nella pianificazione dei trasporti. Nel caso più generale il concetto di domanda indotta rimane estremamente ambiguo.

Gli economisti convergono nel raccomandare la Regola della Metà in presenza di domanda indotta[4]:

- "In the majority of situations the calculation of the user benefit associated with induced traffic is relatively straight forward and utilizes the Rule of the Half (RoH) methodology" (Institute for Transport Studies, 2003).
- "*Consumer surplus incorporating induced traffic (…) can be measured using the Rule of Half (…)The user benefit comprises of the benefit to the existing traffic (…) and the induced traffic (…).*" (Rand Europe & WSP, 2018).

Si illustra di seguito come la domanda indotta possa essere aggiunta nel quadro analitico finora utilizzato. Per ogni modo, la domanda indotta è la variazione di domanda intervenuta al netto di quella risultante del trasferimento modale. Ricordando le equazioni 1 e 2 (l'asimmetria fra le due formulazioni risulta dal fatto che T_I è il trasferimento da 0 verso 1):

$$G_0 = T_I - (Q_{I0}-Q'_{I0}) = (Q'_{I0}-Q_{I0}) + T_I \qquad \text{eq 1}$$
$$G_1 = (Q'_{I1} - Q_{I1}) - T_I \qquad \text{eq 2}$$

Il beneficio degli utenti aggiuntivi è:

- Per il modo 0

$$B_{I0} = ½\ ((Q'_{I0}-Q_{I0}) + T_I).(C_{I0} - C_{I0}') \qquad \text{eq 29}$$

- Per il modo 1

$$B_{I1} = ½\ ((Q'_{I1} - Q_{I1})-T_I).(C_{I1}- C_{I1}') \qquad \text{eq 30}$$

Il beneficio complessivo degli utenti, indotti, trasferiti o che rimangono sul loro modo si compone di:

- Utenti che rimangono sul proprio modo: $Q_1(C_{I1}'-C_{I1}) + Q_0(C_{I0}'-C_{I0})$
- Indotti = $½\ [T_I - (Q_{I0}-Q'_{I0})](C_{I0} - C_{I0}') + ½\ [(Q'_{I1} - Q_{I1}) - T_I](C_{I1}- C_{I1}')$
- Trasferiti B= $½\ (C_{I1}- C'_{I1})T_I + (C_{I0} -C'_{I0})T_I$

Ossia, complessivamente:

$$½\ [T_I - (Q_{I0}-Q'_{I0})](C_{I0} - C'_{I0}) + ½\ (C_{I0} - C'_{I0})T_I + ½[(Q'_{I1} - Q_{I1}) - T_I](C_{I1}- C'_{I1}) + ½\ (C_{I1} - C'_{I1})T_I+ Q_{I1}.(C'_{I1}-C_{I1}) + Q_{I0}.(C'_{I0}-C_{I0}) \qquad \text{eq 31}$$

$$= ½(Q_0+Q'_0).(C_{I0} - C'_{I0}) + ½(Q_1+Q'_1).(C_{I1}- C'_{I1}) \qquad \text{eq 32}$$

Così, utilizzando un formalismo elementare, si può illustrare come la Regola della Metà misura effettivamente il beneficio degli utenti di un sistema di trasporto, inclusi gli utenti trasferiti e indotti.

Si ritrova il risultato presentato in alcuni scritti come "domanda media" (Cascetta, 2009 equazione 10.2.16)[5]. Con le nostre notazioni:

---

[4] Gorham su "*demystifying induced demand*" (2009, p. 16), si esprime in maniera più circospetta sulla Regola della Metà; tuttavia le sue critiche riguardano gli spostamenti che hanno un valore per se stessi (e non come mezzo per raggiungere altre finalità): Come lo suggerisce un revisore anonimo, questo potrebbe essere approfondito analizzando i temi del trip chaining, degli spostamenti dedicati o non dedicati.: comunque l'autore riconosce, in conclusione, come nella maggiore parte dei casi questo metodo sia la migliore soluzione pratica.

[5] Con le notazioni in Cascetta (2009)

$$DS_P = \frac{1}{2}\sum_{i=1,2}\left(d_i^{NP} + d_i^{P}\right)\cdot\left(g_i^{NP} - g_i^{P}\right)$$

$$\tfrac{1}{2}\,((Q_1+Q'_1).(C_1-C'_1)+(Q_0+Q'_0).(C_0-C'_0)) \qquad \text{eq 33}$$

Questo metodo si caratterizza per l'estrema parsimonia di ipotesi (distribuzione lineare delle preferenze) e di dati (richiede solo di conoscere, nelle situazioni con e senza progetto, i Costi Generalizzati osservati del segmento I e il livello di traffico corrispondente). Nella formulazione ottenuta si elide la differenza di Costo Generalizzato osservato fra modi di origine e di destinazione; questa è solo una fra le proprietà contro-intuitive di questa misura, che meritano di essere descritte più in dettaglio, come nel paragrafo successivo.

3 Alcune proprietà interessanti e contro-intuitive

In questa sezione, si mettono in evidenza le proprietà della Regola della Metà, alcune delle quali sono contro-intuitive e possono trarre in inganno. In particolare, si riesce a misurare il beneficio degli utenti trasferiti senza riferimento (apparente) al risparmio di Costi Generalizzati degli utenti stessi. Nel dettaglio mettiamo in evidenza i seguenti risultati:

- Se la domanda è lineare, la regola della metà misura esattamente i benefici degli utenti,
- Al contrario, la variazione di costi generalizzati non li misura correttamente,
- La regola della metà non dimezza i benefici degli utenti,
- Solo un modello perfettamente disaggregato potrebbe basarsi sulla differenza di costi generalizzati.

Si mostra, inoltre, che una misura più intuitiva come la variazione di Costi Generalizzati sia una stima distorta del beneficio netto degli utenti trasferiti.

3.1 Se i benefici individuali sono distribuiti linearmente, il beneficio netto degli utenti è esattamente calcolato dalla Regola della Metà

Esistono diverse misure di economia del benessere che consentono di misurare il beneficio che gli utenti traggono da un intervento: Variazione Equivalente, Variazione Compensativa, Surplus marshalliano. Un trattamento esaustivo di queste misure è proposto da Delle Site e Salucci (2018). La letteratura suggerisce, inoltre, che la differenza fra queste diverse misure, se applicate coerentemente, non è importante. Questo può tuttavia meritare approfondimenti che vanno al di là dello scopo del presente articolo. Se ci si focalizza su una misura più semplice e sempre calcolabile come il beneficio netto degli utenti, si può dimostrare che, se tali benefici si distribuiscono in maniera lineare, la Regola della Metà fornisce una stima esatta.

3.2 La variazione di Costi Generalizzati degli utenti trasferiti non misura il beneficio netto degli utenti, tranne in casi fortuiti, altamente improbabili

Un'altra misura, intuitiva, del beneficio degli utenti sarebbe la variazione del Costo Generalizzato misurato. Questa misura fornisce una stima distorta, se non in casi fortuiti. Questo può essere dimostrato sia nel caso generale, ossia indipendentemente da un ipotesi sulla distribuzione delle preferenze degli utenti, sia nel caso di distribuzione lineare delle preferenze quando, cioè, vale la Regola della Metà (Nagel, Kickhoefer, & Winter, 2015).

Caso 1: Nel caso generale

Abbiamo evidenziato una condizione necessaria e sufficiente (eq 17) affinché la variazione di Costo Generalizzato fornisca una misura corretta della variazione del beneficio netto degli utenti (eq 17) : $\sum_i (\varepsilon_{i1}-\varepsilon_{i0}) = 0$.

La variazione di Costo Generalizzato sovrastima i benefici netti reali dalla seguente quantità:

$$\Delta = \sum_i(C_{i0} - C'_{i1}) - B = \sum_i(C_{I0} - C'_{I1}) - \sum_i[C_{Ii0}+\varepsilon_{i0} - (C'_{I1}+\varepsilon_{i1})] = \sum_i(\varepsilon_{i1}-\varepsilon_{i0}) \quad \text{eq 34}$$

$$\Delta = 0 \Leftrightarrow B = (C_{I0}-C'_{I1}).T \Leftrightarrow \sum_i (\varepsilon_{i1}-\varepsilon_{i0}) = 0 \quad \text{eq 35}$$

La variazione di Costi Generalizzati fornisce il risultato corretto se la somma delle componenti non osservate del Costo Generalizzato dei diversi spostamenti è nulla. Se il segmento I comporta diversi utenti trasferiti, la condizione appare tanto probabile quanto è probabile che una moneta lanciata in aria possa ricadere di lato.

Un caso particolare è quello in cui ogni singolo ε_i vale 0: se si potesse osservare in modo perfettamente disaggregato (per ogni singolo individuo o spostamento) e informato (avendo tutte le informazioni misurate senza errore) il beneficio netto per ogni spostamento grazie al progetto, non sarebbe necessario applicare la Regola della Metà; basterebbe aggregare le variazioni di beneficio netto sui vari spostamenti.

Questa ipotesi, nel caso in cui il segmento I comporti più di uno spostamento, ha una serie di conseguenze “strane”:

- Tutti gli spostamenti dello stesso segmento hanno esattamente gli stessi Costi Generalizzati, e sono perfettamente misurati.
- Tutti gli spostamenti dello stesso segmento usano lo stesso modo.
- Nessun trasferimento modale ha luogo per miglioramenti troppo piccoli del modo di destinazione.
- Tutti si trasferiscono in blocco quando il miglioramento diventa sufficiente: $C'_{I0}>C'_{I1}$

Caso 2: con la Regola della Metà (distribuzione lineare della domanda)

Ora si suppone, inoltre, che gli utenti siano distribuiti omogeneamente. In tale caso, i benefici degli utenti trasferiti possono essere misurati con la regola del triangolo. Ci si può domandare a che condizioni la variazione di Costo Generalizzato dia una misura esatta dei benefici.

Nel caso generale, la variazione di beneficio netto è diversa della variazione di Costo Generalizzato. Anzi, è assolutamente “ortogonale”: si può ottenere qualunque variazione dei benefici netti, con qualunque variazione dei Costi Generalizzati osservati. È un risultato altamente contro-intuitivo ma che deriva della necessità di prendere in considerazione la parte inosservata dei Costi Generalizzati (Figura 4). Il motivo è che i Costi Generalizzati osservati non dicono niente, per definizione, della componente non osservata. L’unico modo con il quale si manifesta la parte inosservata del costo generalizzato si materializza nell’osservazione dei due punti di equilibrio (con e senza progetto) del sistema di trasporto.

Non solo, questi due risultati possono anche essere di segno opposto. Se un progetto migliora il modo ferroviario, ma non sufficientemente da rendere i suoi Costi Generalizzati inferiori a quello della strada, la variazione di Costo Generalizzato degli utenti trasferiti sarà negativa (un aggravio di costi). Si tratta evidentemente di un risultato privo di realismo, visto che in realtà gli utenti si sono trasferiti perché conveniva loro farlo.

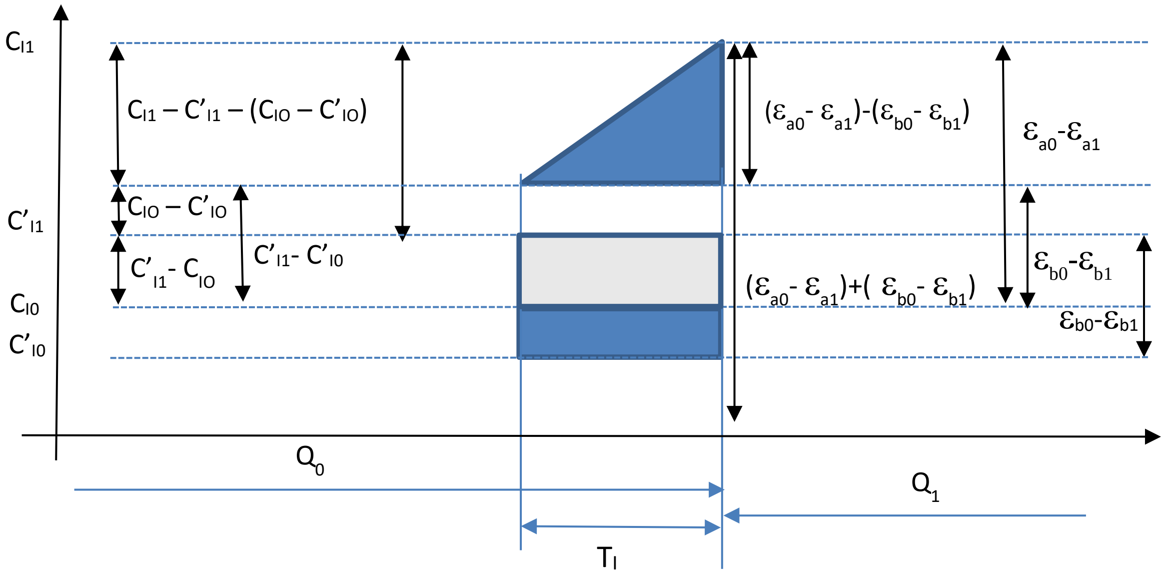

Figura 4 - Benefici complessivi degli utenti e variazione dei costi generalizzati

È possibile, nelle condizioni in cui vale la Regola della Metà, mettere in evidenza una particolare configurazione secondo cui queste due quantità si uguagliano? Riscriviamo Δ, sovra-stima corrispondente all'utilizzo dei Costi Generalizzati:

$$\Delta = \sum_i (C_{i0} - C'_{i1}) - B = (C_{I0} - C'_{I1}).T_I - 1/2.(C_{I1} - C'_{I1}).T_I - ½.(C_{I0} - C'_{I0}).T_I \qquad \text{eq 36}$$

$$\Delta = ((C_{I0} - C'_{I1}) - 1/2.(C_{I1} - C'_{I1}) - 1/2\ (C_{I0} - C'_{I0}))\ T_I \qquad \text{eq 37}$$

$$\Delta = 1/2\ (C_{I0} - C_{I1} + C'_{I0} - C'_{I1})\ T_I \qquad \text{eq 38}$$

Questa condizione sembra difficile da interpretare. Si può tuttavia utilizzare la relazione fra componente misurata e componente inosservata dei Costi Generalizzati degli individui marginali.

$C_{I1} - C_{I0} = \varepsilon_{a0} - \varepsilon_{a1}$ oppure $C_{I0} - C_{I1} = \varepsilon_{a1} - \varepsilon_{a0}$ (eq 19)

$C'_{I0} - C'_{I1} = \varepsilon_{b1} - \varepsilon_{b0}$ (eq 22)

Ognuna di queste componenti potrà essere positiva o negativa secondo i dati della particolare situazione esaminata.

$$\Delta = 1/2\ (\varepsilon_{a1} - \varepsilon_{a0} + \varepsilon_{b1} - \varepsilon_{b0}).T_I. \qquad \text{eq 39}$$

oppure,

$$\Delta = (\varepsilon_{a1} - \varepsilon_{a0}) + 1/2((\varepsilon_{b1} - \varepsilon_{b0}) - (\varepsilon_{a1} - \varepsilon_{a0})).T_I. \qquad \text{eq 40}$$

Questa espressione matematica è illustrata in Figura 5. In altri termini, se vale l'ipotesi di distribuzione omogenea della "domanda", la sovrastima legata all'utilizzo della variazione dei Costi Generalizzati misurati è uguale alla media delle componenti inosservate del Costo Generalizzato osservato per i due individui marginali.

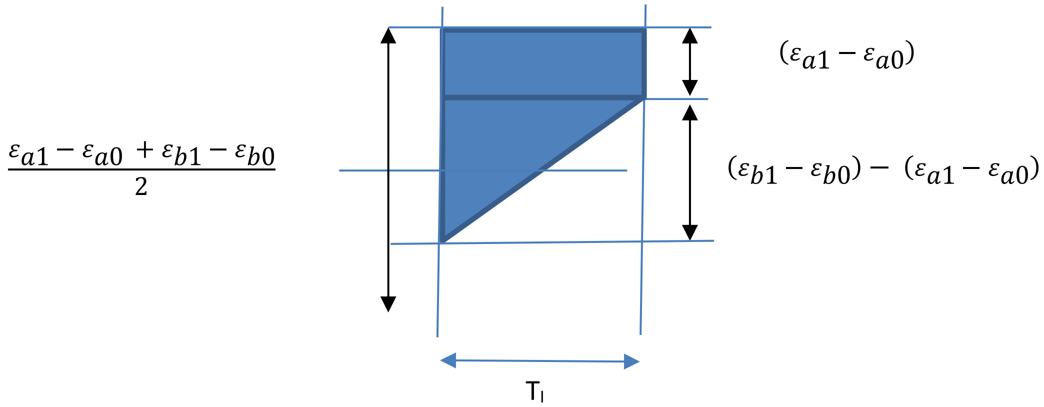

Figura 5 – sovrastima legata all'utilizzo dei Costi Generalizzati

Una possibile sovrastima è più facile da visualizzare geometricamente quando le diverse superfici coinvolte appaiono tutte con il segno positivo nei benefici netti. Questo caso è illustrato sulla Figura 6, dove il modo di destinazione è mediamente meno costoso del modo di origine. Ovviamente si può anche incontrare un caso di sottostima, comunque simmetrico a quello esposto.

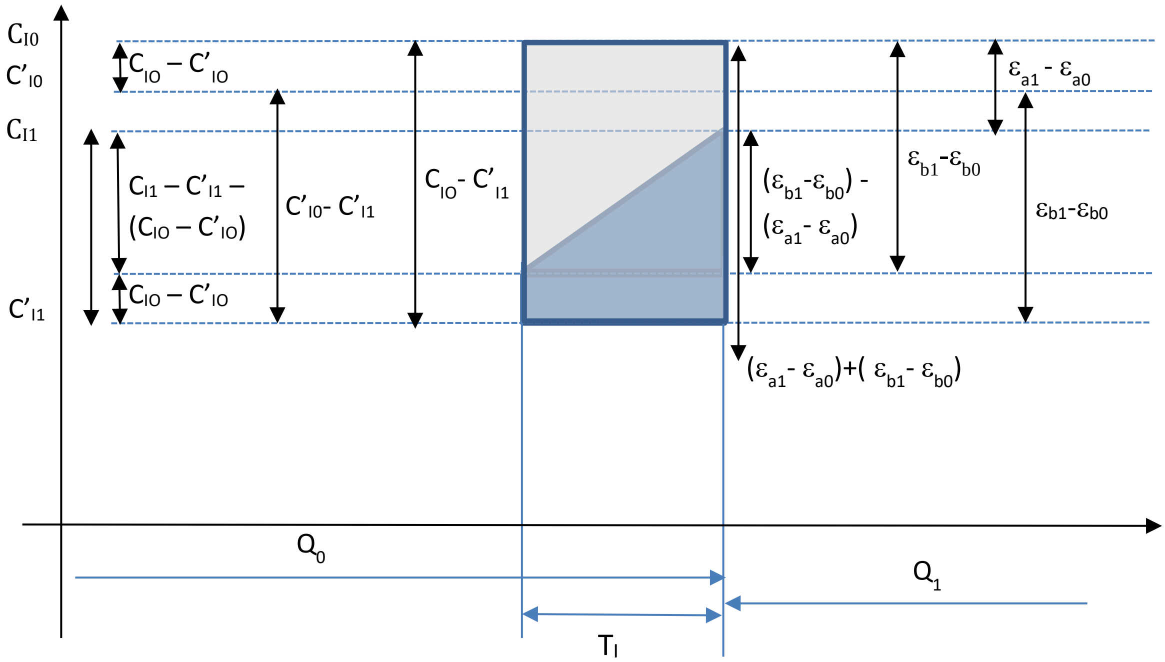

Figura 6- Benefici complessivi degli utenti e variazione dei Costi Generalizzati

Malgrado sia errata, sembra che la variazione dei Costi Generalizzati sia a volte utilizzata in pratica. È quello che suggerisce, ad esempio, la menzione a p.151[6] dell'ACB della Torino-Lione realizzata per la Conferenza Intergovernativa già nel 2000 (CIG, 2000).

[6] Per il calcolo del surplus merci, la relazione indica "Tradizionalmente il surplus può essere stimato in funzione della differenza di costo generalizzato fra le situazioni «senza» e «con» progetto." "in funzione" è un'espressione che si presta a interpretazioni varie ma la formula seguente (Equazione 10 p. 151) fornisce un'interpretazione letterale: "in funzione" significherebbe "uguale a" $S = \Sigma\, \Delta Cgi$ -

Ma in tabella 10 la relazione afferma: "Per i traffici viaggiatori trasferito e generato, il beneficio unitario è stimato in metà del beneficio di riferimento (ipotesi di variazione lineare della domanda)" p. 136. Inoltre, il documento sottolinea il carattere provvisorio dei risultati forniti. E' difficile concludere con certezza.

Questi risultati mettono in evidenza come la debolezza essenziale del Costo Generalizzato sia insita nella mancata considerazione della componente inosservata di tali Costi. Queste componenti inosservate gettano un “cono d’ombra” sull’analisi, che si può dissipare solo adoperando metodi più attenti rispetto alla semplice contabilizzazione dei Costi Generalizzati. Il procedimento ha degli aspetti epistemologici non trascurabili come commentati brevemente nel riquadro 3.

Riquadro 3 - Una prospettiva ontologica sulla Regola della Metà

La Regola della Metà somiglia alla risposta fenomenologica all’impasse dell’ontologia kantiana. In questa ultima, i Costi Generalizzati osservati sono dell’ordine del fenomeno, i Costi Generalizzati reali riguardano il noumeno, e per ciò, non sono, nell’ottica kantiana, oggetto di conoscenza. Nei termini dell’Introduzione, è necessario rovesciare la prospettiva sulle conoscenze empiriche: i Costi Generalizzati informano tanto sullo strumento conoscitivo del soggetto quanto sulle caratteristiche dell’oggetto. La regola della Metà materializza il superamento fenomenologico, ad esempio husserliano, dell’impasse Kantiana, in quanto esiste una possibilità e un dovere di indagare il fenomeno in modo tale da fargli dire tutto quello che può dire sul noumeno, a prescindere dell’apparente irraggiungibilità del noumeno.

L’errore nel quale si incorre se si considera la variazione di Costi Generalizzati ha due componenti

Possiamo anche dire di più: la sovrastima insita nell’utilizzo dei Costi Generalizzati dipende da due fattori. In effetti, la sovrastima legata all’utilizzo dei Costi Generalizzati (eq 39) $\Delta = T_I .1/2\ (\varepsilon_{a0}-\varepsilon_{a1} + \varepsilon_{b0}-\varepsilon_{b1})$ può essere riscritta:

$$\Delta = T_I(\varepsilon_{a0}-\varepsilon_{a1}) + 1/2 T_{I.}[(\varepsilon_{b0}-\varepsilon_{b1})-(\varepsilon_{a0}-\varepsilon_{a1})] \qquad \text{eq 41}$$

Così da fare apparire due componenti dell’errore:

- l’errore sistematico nella misura dei Costi Generalizzati (rettangolo nella Figura 5)
- la mancata considerazione delle variabilità delle situazioni individuali (triangolo nella Figura 5).

A titolo illustrativo, se il segmento I corrisponde a una coppia Origine-Destinazione, un errore sistematico potrà essere commesso, ad esempio, se l’accesso ai trasporti pubblici non è rappresentato realisticamente nel modello (e.g. se i pedoni devono seguire un percorso più contorto rispetto a quanto rappresentato nel modello). Invece, la mancata rappresentazione della variabilità delle situazioni individuali potrà essere legata alla diversa accessibilità che i vari utenti hanno al trasporto pubblico in ragione della loro ripartizione all’interno della zona d’origine.

Sembrerebbe dunque lecito identificare due modi per ridurre l’errore che risulta dell’utilizzo dei Costi Generalizzati: misurare con più precisione un costo che riguarda tutti gli individui di un segmento, oppure discriminare meglio fra utenti. In realtà, questa intuizione, matematicamente corretta, non appare quella più adeguata: più che migliorare un metodo distorto appare preferibile sostituirlo con altri metodi che non presentano la stessa distorsione.

Una situazione fortuita: quando la variazione di Costi Generalizzati produce il risultato esatto

È possibile mettere in evidenza le condizioni dove la distorsione X si elimina: (eq 28) dà, dopo pochi passaggi:

$$\Delta = 0 \text{ se e solo se } C_{I0} + C'_{I0} = C_{I1} + C'_{I1} \qquad \text{eq 42}$$

che si potrà anche scrivere, se si vuole introdurre la nozione di costo medio:

$$\tfrac{1}{2}(C_{I0} + C'_{I0}) = \tfrac{1}{2}(C_{I1} + C'_{I1}) \qquad \text{eq 43}$$

Ossia, la variazione dei Costi Generalizzati misurati fornisce una quantificazione corretta del beneficio netto degli utenti se e solo se la media (prima e dopo l'intervento) del Costo Generalizzato misurato è identica fra i due modi. La Figura 7 illustra questa condizione. Rende apparente che la condizione (eq 43) corrisponde a una situazione molto fortuita, dove il rettangolo, che quantifica la variazione di Costo Generalizzato misurato ha la stessa superficie dell'accostamento fra due triangoli (o un triangolo e un rettangolo) che rappresentano la Regola della Metà.

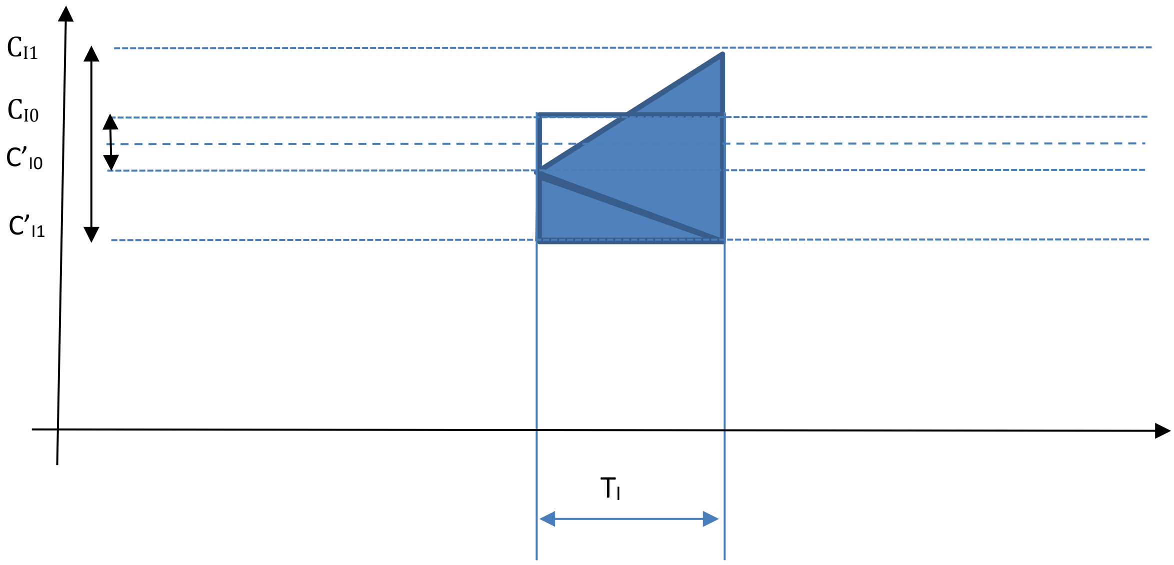

Figura 7 – situazione dove la riduzione dei Costi Generalizzati misurati uguaglia la variazione di beneficio netto

L'interpretazione più immediata di questo grafico è che devono valere particolari condizioni sul progetto perché si possa misurare il beneficio netto degli utenti con la variazione di CG. Questa interpretazione non è giusta; in realtà le condizioni possono non solo riguardare le caratteristiche del progetto, ma anche la parte inosservata. In effetti, il livello dei diversi Costi Generalizzati osservati non dipendono solo dal progetto ma anche dal livello delle componenti di CG non osservate.

Una conclusione importante è che, in assenza di dati completi sui Costi Generalizzati individuali, la Regola della Metà consente di rappresentare la varietà delle situazioni individuali molto meglio della variazione dei Costi Generalizzati. La sua mancata considerazione condurrebbe a una stima distorta dei benefici degli utenti. Potrebbe anche essere di segno sbagliato.

Riquadro 4 – quando la variazione di Costo Generalizzato non misura i benefici degli utenti trasferiti

Due casi rendono particolarmente visibile come la variazione di Costi Generalizzati non misuri i benefici netti degli utenti:

1. Se il miglioramento del trasporto pubblico consente di uguagliare il Costo Generalizzato fra i due modi. In tale caso, la variazione di Costo Generalizzato degli utenti **trasferiti** sarà uguale a zero. Questo vorrebbe dire che il miglioramento del trasporto pubblico non comporta benefici per gli utenti trasferiti, il che sarebbe assurdo. Per quale motivo si sarebbero spostati se non hanno beneficio? In questo caso, l'applicazione della Regola della Metà fornirà indicazioni su come debba essere un risultato positivo (gli utenti si sono trasferiti per migliorare la loro situazione). Il beneficio (positivo) non può essere la metà della differenza del Costo Generalizzato che è uguale a 0.
2. Se invece, dopo miglioramento del Trasporto Pubblico, esso rimane peggiore del trasporto privato, il Costo Generalizzato degli utenti trasferiti aumenta. Anche in questo caso, il risultato non fornisce una misura ammissibile del loro beneficio: perché si sarebbero trasferiti se ci perdono?

3.3 Una misura coerente del beneficio netto non necessita il calcolo della differenza di Costo Generalizzato fra modi

Un altro aspetto contro-intuitivo è che la differenza di Costi Generalizzati fra modi (C_{I0}-C'_{I1}) non compare nell'espressione dei Benefici Netti. Ora questo risultato contro-intuitivo è coerente. È possibile illustrarlo considerando due casi.

Nel caso più semplice, dove il modo alternativo (la strada) non migliora, il beneficio netto degli utenti trasferiti, dato da (eq 28) diventa: ½ (C_{I1} - C'_{I1}).T_I, di cui scompare qualunque riferimento al modo di origine. Il motivo è che le condizioni sugli individui marginali possono esprimersi in funzione esclusiva delle proprietà del modo di destinazione. Successivamente l'integrazione dei risultati su tutti gli individui intermedi non necessita di reintrodurre gli altri modi.

Nel caso più complesso, dove i costi cambiano sul modo di origine (eq 28):

$$B= ½\ (C_{I1}– C'_{I1}).T_I + 1/2\ (C_{I0} - C'_{I0}).T_I$$

Il beneficio degli utenti trasferiti è la somma di due espressioni, ciascuna delle quali include solo i costi di un unico modo.

Per quanto contro-intuitivo possa sembrare questo risultato, esso è solo una riscrittura del beneficio netto degli utenti.

3.4 Si elidono le informazioni sul modo alternativo, grazie alle condizioni che vigono sugli individui marginali

La possibilità di esprimere i benefici facendo sparire C_{I0}-C'_{I1} è l'aspetto più contro-intuitivo della Regola della Metà. Deriva dell'utilizzo astuto delle informazioni fornite dagli individui marginali.

Se un utente risparmia x € di Costo Generalizzato misurato cambiando modo, questo, per definizione, non dice niente degli effetti non presenti nel Costo Generalizzato misurato. Gli utenti possono risparmiare 100 o 10 nel loro trasferimento modale, questo non misura il valore di questo trasferimento che invece dipende da elementi o di costi o di disutilità impliciti del modo. In maniera simmetrica, alcuni utenti possono trasferirsi verso un modo con Costi Generalizzati misurati maggiori, ma questo non implica che il loro beneficio sia negativo.

Se un utente è disposto a sopportare x € di Costo Generalizzato (misurato) in più per utilizzare un modo piuttosto che un altro[7], vuole dire che gli effetti non contabilizzati nel CG valgono per lui almeno x €. Dunque, non si può dire niente di valido sul beneficio che questi utenti traggono finché non sono state considerate queste componenti inosservate. Si ritrova l'intuizione di Nagel et al. (2015) che parla a questo proposito di "utilità implicita", come è poi stata integrata nelle procedure di valutazione in uso in Germania (Dahl, Meunier, Quinet, & Walther, 2016).

Solo nel caso monomodale, la variazione di Costi Generalizzati può sembrare in grado di fornire una misura corretta del beneficio degli utenti. In questo caso, in effetti, esistono solo i costi C_I e C_1' e questo rende superfluo interrogarsi su quali costi dovrebbero essere presi in considerazioni. Inoltre, siccome esiste un unico modo, la preferenza implicita per un modo non può contribuire al risultato.

3.5 La Regola della Metà non dimezza i benefici degli utenti trasferiti né i risparmi di pedaggi o di accise

La Regola della Metà come illustrata in:

$$B= \frac{1}{2}\,(C_{I1} - C'_{I1}).T_I + \frac{1}{2}\,(C_{I0} - C'_{I0}).T_I$$

non dimezza la variazione di costo degli utenti trasferiti. Per estensione, contrariamente a quanto affermato in alcuni testi (Cini, Siciliano, & Zucchetti, 2019; Cascetta, 2019; Percoco e Tavoni 2019, Boitani citato da OAFTL, 2019), la Regola non dimezza le varie componenti di questo costo come i pedaggi o le tasse. È un calcolo che li considera interamente. È solo una riscrittura del beneficio degli utenti. Non compare, inoltre, in questa formula, il termine $\frac{1}{2}(C'_{I1}-C_{I0})$, che sarebbe la Metà del risparmio di Costi Generalizzati misurati. Se si volesse fare apparire questo termine, si potrebbero fare alcune trasformazioni matematiche, ma dopo tale trasformazione comparirebbero altri termini nell'equazione (appendice 2). Questo consente di concludere che la Regola della Metà non considera che i benefici degli utenti sono la metà della riduzione dei loro costi.

Dunque, grazie alla formalizzazione proposta, è possibile fornire un'interpretazione corretta della Regola della Metà e, in particolare, evidenziare che, malgrado il suo nome, essa non considera "Metà" dei benefici, ma la loro totalità. La Metà risulta dalla necessita di considerare componenti non osservate dei costi, che spiegano anche perché, in caso di variazione marginale del Costo Generalizzato, gli utenti, non essendo identici, si trasferiscono uno a uno e non "tutti insieme".

3.6 Un modello perfettamente disaggregato e informato potrebbe rendere inutile la Regola della Metà

Un caso interessante è quello dove ogni segmento è costituito da un unico utente o da un unico spostamento trasferito, per il quale i Costi Generalizzati sono perfettamente conosciuti. In tale caso, ε_i è nullo. In questo caso particolare, la Regola della Metà diventa inutile (in realtà, diventa anche inapplicabile: per fare la Metà, sarebbe necessario avere almeno due osservazioni in ogni segmento). Per i metodi canonici della pianificazione dei trasporti, questo livello di disaggregazione sembra illusorio. Forse i modelli agent-based possono offrire una disaggregazione per ogni utente (El-Amine, Galland, Yasar, & Koukam, 2017; Gambardella, Rizzoli, & Funk, 2002; Raney et al., 2003) e l'integrazione di modelli agent-based in un

[7] Un revisore ci indica che questo non può avvenire con la RoH. Dissentiamo, questo può avvenire, come con un modello RUM, se la componente inosservata dei costi generalizzati lo consente.

processo valutativo probabilmente merita attenzione (Babakan et al., 2015). Ma in realtà i diversi spostamenti di un singolo utente possono avere Costi Generalizzati diversi; servirebbe, dunque, un modello che distingue ogni spostamento, non solo ogni individuo. Questo sicuramente diventa una prospettiva interessante per l'uso dei cosiddetti Big Data. Tuttavia, in attesa di applicazioni che sfruttino a pieno queste ultime potenzialità è necessario disporre di strumenti che producono risultati consistenti (non distorti) ed è per questo che la Regola della Metà è – e rimane – di interesse.

Al termine di questa analisi, sono state messe in evidenza alcune proprietà contro-intuitive della Regola della Metà e come fosse sbagliata l'idea secondo la quale essa contabilizzerebbe solo Metà della riduzione dei Costi Generalizzati, o Metà del risparmio sui pedaggi o sulle accise. Chiariti questi rischi di equivoco, ci si potrà chiedere quali siano i limiti della Regola della Metà e quale sia il suo campo di validità.

4 Conclusioni

L'analisi qui presentata fornisce una serie di risultati. Alcuni chiariscono lo stato dell'arte riguardo ai malintesi che sono recentemente apparsi in occasione del dibattito sulla valutazione delle infrastrutture in Italia. Altri sono più metodologici, come la messa in evidenza della stretta parentela fra modelli detti descrittivi, basati sui Costi Generalizzati, e i modelli di Massimizzazione dell'Utilità Stocastica, nesso già evidenziato negli approcci fondatori dell'analisi delle scelte binarie (Cox & Snell, 1989). In realtà, i modelli a Utilità Stocastica richiedono solo due semplificazioni per giungere alla formulazione qui proposta:

- La funzione d'utilità viene semplificata da $U = V_i+\varepsilon_i$ a $U = -(C_i- \varepsilon_i)$ ove C_i può contenere attributi sia monetari sia fisici oltre a caratteristiche comportamentali. Qualunque attributo che migliori l'attrattività di un modo (comfort ad esempio) può essere incluso in questa formulazione sotto forma di una riduzione dei Costi Generalizzati.
- La parte stocastica dell'utilità è distribuita in maniera uniforme sull'intervallo considerato.

In questa impostazione, l'elemento fondamentale sta nell'impossibilità per l'analista di misurare tutte le componenti di Costo Generalizzato degli utenti. Perciò se si basasse solo sui Costi Generalizzati misurati commetterebbe un errore, mentre può invece sfruttare altre informazioni legate alla situazione di individui "marginali" e formulare un'ipotesi di distribuzione lineare.

Da questo procedimento deriva una serie di conclusioni riguardo ad aspetti contro-intuitivi della Regola della Metà:

- Il beneficio netto degli utenti non è la variazione del loro Costo Generalizzato. In alcuni casi, quando migliora il modo di destinazione, esso può attrarre utenti nuovi, malgrado il fatto che il loro Costo Generalizzato osservato aumenti. Per un miglioramento di questo tipo, la variazione di Costo Generalizzato osservato può avere un segno negativo, manifestamente sbagliato, mentre la Regola della Metà fornisce sempre un risultato positivo.
- La variazione di Costi Generalizzati sarebbe una misura valida del beneficio netto degli utenti solo se fosse osservabile, senza errore, per ogni singolo spostamento. Questo potrebbe succedere solo se si disponesse di un modello interamente disaggregato, cosa generalmente irrealistica. Anche i modelli Agent Based di solito non distinguono fra le condizioni singolari dei diversi spostamenti, e perciò potrebbero non essere comunque sufficientemente disaggregati per rendere superflua la Regola della Metà.
- La Regola della Metà sembra non basarsi sulla differenza di Costi Generalizzati fra

modo di origine e modo di destinazione, ossia sul risparmio apparente degli utenti. In effetti, nel calcolo, la differenza di Costi Generalizzati fra modi si elide quando, per calcolare numericamente il beneficio netto, si devono considerare le condizioni sugli utenti marginali. Gli utenti che si trasferiscono hanno una componente inosservata dei loro costi, deve essere considerata; e la modalità che consente di farlo rende inapparente la variazione di Costi Generalizzati degli utenti che cambiano modo.

- Nel caso multimodale, la Regola della Metà può essere calcolata con riferimento alla sola variazione di Costo Generalizzato del singolo modo.

Una terza serie di conclusioni riguarda **possibili incomprensioni** della Regola. Ci soffermiamo su alcune di loro.

- La Regola della Metà suppone una distribuzione lineare degli utenti:
  - questo è vero all'interno di ogni segmento d'analisi considerato, in generale molto numerosi, che possono avere diverse sensibilità ai diversi componenti dei Costi Generalizzati. Può essere che la somma di varie funzioni di risposta lineari, dia, a sua volta, una funzione complessiva lineare, ma questo non implica che tutti gli individui siano considerati identici o di pari sensibilità ai vari componenti del Costo Generalizzato.
  - Solo in alcuni casi, caratterizzati da una scarsità di dati disponibile, la Regola della Metà si applica a un numero limitato di segmenti. In tale caso, l'ipotesi di linearità diventa più impattante. Tuttavia, se non sono disponibili altri dati, non sembra ci siano alternative metodologiche più credibili della Regola della Metà.
  - Anche gli altri metodi di calcolo (per esempio Logsum), si basano su un'ipotesi sulla distribuzione degli utenti (per la precisione: della componente stocastica dell'utilità dei diversi utenti). Il calcolo basato sui Costi Generalizzati tout court si basa sull'ipotesi che tutti gli utenti di un determinato segmento siano identici. Il Logsum si basa su un'ipotesi di distribuzione Gumbel della parte inosservata dell'utilità, un'ipotesi che non appare molto più sostanziata di quella di distribuzione uniforme.
- La Regola della Metà dimezzerebbe i benefici che gli utenti fanno grazie al trasferimento:
  - Si può escludere nel modo più formale questa interpretazione. La Regola della Metà è la trasformazione matematica di un'equazione che contempla tutti i benefici degli utenti. La confusione risulta d'altronde strana per la sua manifesta infondatezza.
  - Un possibile fattore di confusione riguarda l'effetto di una variazione della tassazione, come descritto nei manuali di micro-economia: una riduzione della tassazione gioverebbe agli utenti addizionali di un prodotto un beneficio uguale a Metà della perdita per lo Stato. Ma si tratta di una situazione chiaramente diversa: in un caso la riduzione di una tassa, nell'atro caso, lo spostamento della domanda dei consumatori (con tassazione immutata) in seguito al miglioramento di un prodotto.

Quello che emerge dalla nostra analisi potrebbe riguardare la difficoltà per gli specialisti a spiegare una modalità di calcolo, per loro ovvia, e finora non messa in discussione. “No one would question this” o almeno nessuno l'avrebbe fatto fino a quando l'applicazione di questa regola è stata esposta a violente critiche. Anche nei più accesi dibattiti pubblici su progetti di opere pubbliche (citiamo Stuttgart 21, il lavoro della commissione Roskill sulla costruzione di un terzo aeroporto a Londra, l'aeroporto di Nantes, il Big Dig di Boston) non sembra, almeno per quanto abbiamo potuto verificare, sia mai stato malinteso questo metodo. Il fatto che la regola sia sottomessa a scrutinio, non è di per se problematica, lo diventa però se questo esame è fatto su una base errata.

Se fosse vero che la Regola della Metà contabilizza solo metà dei benefici degli utenti allora sarebbero incoerenti i risultati prodotti nella quasi totalità delle valutazioni realizzate da quando si pratica Analisi Costi Benefici per progetti di trasporto. Si dovrebbe anche spiegare perché non è neanche stata messa in discussione finora, se non per il peso di alcune ipotesi come la linearità, o le variazioni d'utilità dei singoli spostamenti. La critica secondo la quale la regola della metà non contabilizzerebbe tutti i benefici dovrebbe basarsi su una dimostrazione analitica, documentata e riproducibile. Non abbiamo trovato elementi di questo tipo nelle critiche formulate ad occasione del dibattito sull'ACB in Italia nel 2019. Potremmo con ironia, suggerire che la critica formulata, prendere in considerazione solo metà dei benefici, somiglia a dire che hanno sbagliato i fisici perché hanno preso in considerazione solo metà della massa di un oggetto nell'applicare la formula dell'energia cinetica $1/2Mv^2$.

Una sfida è rispondere alla domanda "se la Regola della Metà non misura metà dei benefici, di che cosa è la Metà?" Un tentativo di risposta, sicuramente migliorabile, è il seguente: metà del beneficio che otterrebbero gli utenti se fossero tutti identici all'utente che trae il maggiore beneficio del cambiamento nel segmento considerato, cioè se fossero tutti beneficiati "al massimo grado" dal progetto.

Diventa speculativo capire il motivo dell'incomprensione dell'uso della Regola della Metà nel dibattito pubblico svoltosi in Italia nel periodo recente. Il malinteso sembra unico per quello che possiamo conoscere della pratica internazionale. Quello che finora sembrava non necessario forse lo è diventato in questa occasione: trovare una spiegazione intuitiva chiarificatrice a una modalità di calcolo finora non contestata.

Si spera, in questo modo, di aver chiarito il significato della Regola della Metà. Ulteriori temi di investigazione riguardano i pregi e limiti del metodo. Queste questioni riguardano:

- il peso dell'ipotesi di linearità della funzione di domanda,
- come modifiche nell'uso del suolo o, più generalmente, le variazioni nell'utilità degli spostamenti, possono modificare la validità della Regola della Metà,
- gli effetti di Equilibrio Generale,
- gli effetti di reddito nella valorizzazione del surplus, e più in generale, il confronto fra varie misure di welfare,
- Gli effetti di variazioni della componente inosservate del Costo Generalizzato ($\varepsilon'_{i1} - \varepsilon_{i1}$) sulla valutazione.
- L'utilizzo della Regola della Metà per valorizzare flussi stimati invece sulla base di un Logit, e le eventuali incoerenze che potrebbero derivarne.

Vanno inoltre confrontati, in maniera sistematica, pregi e limiti del metodo con altri metodi, in particolare: il Logsum, il metodo dei costi medi o della domanda media. Queste questioni esulano del presente documento e saranno oggetto di una futura trattazione.

5 Appendice

5.1 Appendice 1 - Calcolo del beneficio degli utenti quando la parte non osservata dei costi generalizzati viene modificata dal progetto.

Dovremo ora considerare l'ipotesi che il progetto modifichi i Costi Generalizzati. In tale caso, le notazioni sono le seguenti, dove i termini epsilon hanno un valore diverso nelle situazioni con o senza progetto

	Senza progetto	Con progetto
Modo 0	$C_{I0}+\varepsilon_{i0}$	$C'_{I0}+\varepsilon'_{i0}$
Modo 1	$C_{I1}+\varepsilon_{i1}$	$C'_{I1}+\varepsilon_{i}'_{1}$

Si tratta di una situazione problematica: non solo i Costi Generalizzati sono misurati in maniera incompleta, ma questa incompletezza, cambia fra scenario con e senza progetto. Diventa una sfida pensare a un metodo che possa in questo caso produrre un risultato corretto. Si può pensare a due difficoltà:

1 – se ci sono distorsioni nella misura della variazione dei Costi Generalizzati, allora la quantità di utenti trasferiti potrà essere errata;

2 – anche il valore dei benefici potrà essere distorto.

Si può subito chiarire che, in realtà, nessuno di questi due effetti è da attribuire alla regola della metà.

Per quanto riguarda il primo, si deve ricordare che la regola della metà non è utilizzata per prevedere il trasferimento modale, ma per valutare il beneficio degli utenti trasferiti. La determinazione degli spostamenti viene generalmente realizzata con un modello antecedente alla valutazione o, anche, con osservazione diretta dei flussi se si tratta di una valutazione ex post.

Per quanto riguarda il secondo punto, non si tratta di un limite della regola della metà, ma dell'impossibilità di correggere alcune distorsioni della valutazione. In effetti, se i dati disponibili all'analista sotto o sovrastimano sistematicamente la variazione di Costo Generalizzato di una modalità di spostamento, non siamo a conoscenza di metodi in grado di correggere tale distorsione. Anche nei modelli a scelta discreta, si assume che la distribuzione dei termini aleatori rimane invariata nella situazione di progetto rispetto alla situazione iniziale.

Analiticamente, possiamo designare con $\tilde{B}$ il beneficio degli utenti trasferiti corrispondenti nel caso dove si ipotizza una variazione della componente inosservata dei costi generalizzat $\varepsilon'_{i0} \neq \varepsilon_{i0}$.

$$\tilde{B} = \sum_{i=1}^{\tilde{T}I}((C_{I0} + \varepsilon_{i0}) - (C'_{I1} + \varepsilon'_{i1})) \qquad \text{eq 44}$$

Tale beneficio deve esser calcolato su un numero di utenti trasferiti $\tilde{T}_I$, diverso da T_I quello considerato finora: in effetti, i benefici reali del progetto riguardano l'insieme degli utenti trasferiti, anche quelli che sono extramarginali rispetto ai costi generalizzati misurati. Possiamo scrivere:

$$\tilde{B} = \sum_{i=1}^{\tilde{T}I}\left((C_{I0} + \varepsilon_{i0}) - (C'_{I1} + \varepsilon_{i1})\right) - \sum_{i=1}^{\tilde{T}I}(\varepsilon'_{i1} - \varepsilon_{i1}) \qquad \text{eq 45}$$

$$\tilde{B} = \sum_{i=1}^{T_I}\left((C_{I0} + \varepsilon_{i0}) - (C'_{I1} + \varepsilon_{i1})\right) + \sum_{i=T_I}^{\tilde{T}I}\left((C_{I0} + \varepsilon_{i0}) - (C'_{I1} + \varepsilon'_{i1})\right) - \sum_{i=1}^{T_I}(\varepsilon'_{i1} - \varepsilon_{i1}) - \sum_{i=T_I}^{\tilde{T}I}(\varepsilon'_{i1} - \varepsilon_{i1}) \qquad \text{eq 46}$$

L'utilizzo della regola della metà non compromette la giusta rappresentazione dei due primi termini di quest'ultima equazione. In effetti, l'analista non sarebbe costretto a utilizzare la stima distorta T_I (la regola della metà non è uno strumento di previsione della domanda), ma una stima fornita esogenemente. Invece i due secondi termini non potrebbero esser correttamente rappresentati.

Può questo risultato comportare qualche inconveniente nella pratica valutativa? In realtà, se $-\sum_{i=1}^{T_I}(\varepsilon'_{i1}-\varepsilon_{i1}) - \sum_{i=T_I}^{\tilde{T}_I}(\varepsilon'_{i1}-\varepsilon_{i1})$ è una quantità importante, è il segno di un'anomalia nei dati considerati. Questo significa che il progetto, e il suo impatti sui costi, non sono ben rappresentati.

Un'altra ipotesi è quella dove i termini $(\varepsilon'_{i1} - \varepsilon_{i1})$ prendono valori diversi, talvolta negativi, talvolta positivi, di media 0, per i diversi individui o spostamenti i. In tale caso, il modo non subirà una penalizzazione (o un vantaggio) sistematico e la somma dei termini $(\varepsilon'_{i1} - \varepsilon_{i1})$ potrà avere un valore contenuto perché "errori" di segno diverso si compenseranno.

Questo tema sarà approfondito, tramite confronto con altri metodi di valutazione, in particolare il Logsum, in un altro articolo.

5.2 Appendice 2 - un modo artificioso di fare apparire la Metà dei Costi evitati

Sfruttando le numerose proprietà geometriche del triangolo (Cohen, 2006; Lalesco, 1987), si potrebbe produrre un'espressione matematica dove compare la Metà di questi costi, ma si tratterebbe di un artificio come spiegato in Riquadro 5.

Il beneficio

$B = \Sigma\,((C_{I0}+\varepsilon_{i0}) - (C'_{I1}+\varepsilon_{i1})) = ½\,(C_{I1}-C'_{I1}).T_I + ½\,(C_{I0}-C'_{I0}).T_I$

si può scrivere come:

$B= ½\,.(C_{I1}-C'_{I0}).T_I - ½\,(C'_{I1}-C_{I0}).T_I$

dove compare la metà di $(C'_{I1}-C_{I0})$, variazione di Costi Generalizzati. Ma sarebbe un artificio di scrittura, che rende meno apparente la definizione iniziale di B, cioè la somma dei benefici netti di ogni individuo. Inoltre, sarebbe poco interpretabile la presenza di $(C_{I1}-C'_{I0})$ in tale equazione.

Questa formulazione è rappresentata sulla Figura 8, dove il triangolo di colore chiaro appare con il segno meno.

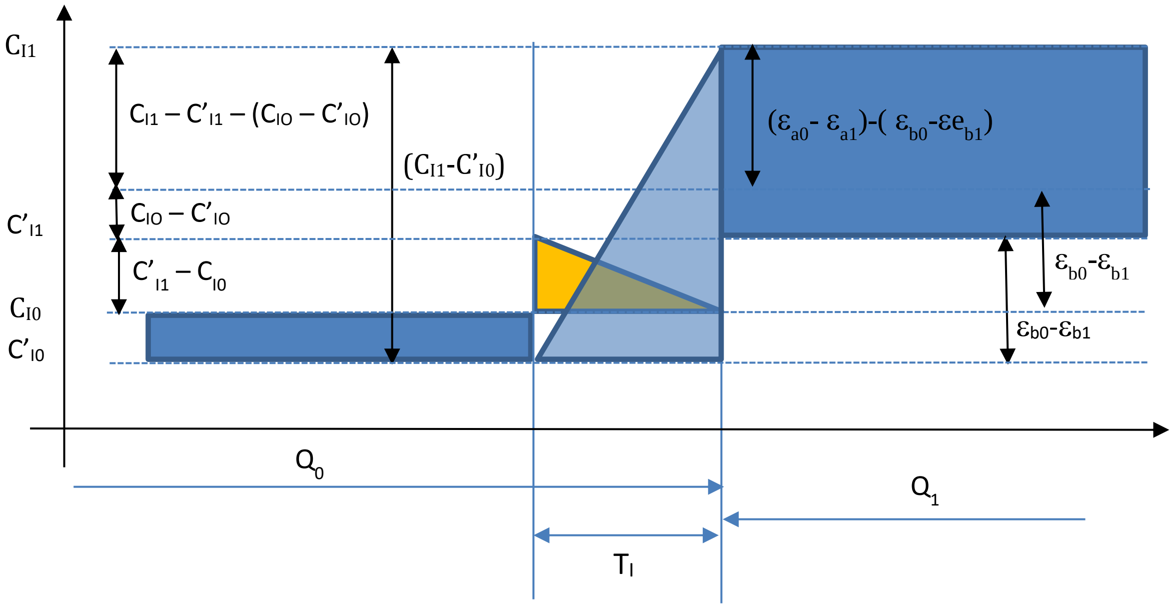

Figura 8 - Una modalità artificiosa per fare apparire la metà della variazione di Costi Generalizzati

Affermare che per questo motivo la Regola della Metà contabilizza solo Metà dei guadagni degli utenti trasferiti sarebbe come affermare che la seguente espressione del PIL PIL = ½ VA + ½ (C+I+G+X-M) fosse sbagliata perché considera solo Metà dell'aumento del Valore Aggiunto, mentre in realtà C+I+G+X-M è proprio il valore aggiunto, riscritto in un'altra maniera.

6 Riferimenti bibliografici

Allais, M. (1989). *La théorie générale des surplus*. Grenoble: Presses Universitaires de Grenoble.

Babakan, A. S., Alimohammadi, A., & Taleai, M. (2015). An agent-based evaluation of impacts of transport developments on the modal shift in Tehran, Iran. *Journal of Development Effectiveness*, *7*(2), 230–251. doi:10.1080/19439342.2014.994656

Button, K. (2006). *Transport Economics* (3 edizione.). Aldershot, Hants, England ; Northampton, MA: Edward Elgar Pub.

Cascetta, E. (2009). *Transportation Systems Analysis: Models and Applications*. Springer Optimization and Its Applications (2º ed.). Springer US. Recuperato da https://www.springer.com/gp/book/9780387758565

Cascetta, E. (2019, febbraio 17). Tav, analisi costi-benefici: criteri discutibili e risultati paradossali. *Il sole 24 ore*.

CIG. (2000). *Relazione del gruppo di lavoro Economia e Finanza* (pag. 170). Commissione intergovernativa Franco-italiana per la nuova Linea ferroviaria torino-lione.

Cini, Siciliano, & Zucchetti. (2019). Infrastrutture e trasporti Analisi costi benefici: il vantaggio del metodo standard. *LaVoce.info*.

Cohen, G. (2006). *Le triangle - Trois points, c'est tout !* (Librairie Eyrolles.).

Cox, D. R. (1970). *The analysis of binary data.* (Methuen and Co.). London.

Cox, D. R., & Snell, E. J. (1989). *Analysis of Binary Data, Second Edition*. CRC Press.

Dahl, A., Meunier, D., Quinet, E., & Walther, C. (2016). New trends in cost-benefit assessment of public investments - findings from the Quinet report in France and the BVWP 2030 in Germany. Contribution to the HEARTS conference Copenhagen 2015. *Zeitschrift fuer Verkehrswissenschaft*, *87*(2). Recuperato da https://trid.trb.org/view/1429106

Delle Site, P., & Salucci, M. V. (2018). Diversione modale e benefici degli utenti: tra intuizione e rigore. *Rivista di Ecoomia e Politica dei Trasporti*, *1*(2). doi:10.13137/2282-6599/22393

DG Regio. (2014). *Guide to Cost-Benefit Analysis of Investment Projects for Cohesion Policy 2014-2020*.

Dupuit, J. (1844). *De la mesure de l'utilité des travaux publics.*

Dupuit, J. (1995). De la mesure de l'utilité des travaux publics (1844). *Revue française d'économie*, *10*(2), 55–94. doi:10.3406/rfeco.1995.978

El-Amine, S., Galland, S., Yasar, A.-U.-H., & Koukam, A. (2017). Demand for Agent-Based Transportation Models & Social Behavioral Challenges. *Procedia Computer Science*, The 8th International Conference on Emerging Ubiquitous Systems and Pervasive Networks (EUSPN 2017) / The 7th International Conference on Current and Future Trends of Information and Communication Technologies in Healthcare (ICTH-2017) / Affiliated Workshops, *113*, 210–216. doi:10.1016/j.procs.2017.08.351

Gambardella, L. M., Rizzoli, A. E., & Funk, P. (2002). Agent-based Planning and Simulation of Combined Rail/Road Transport. *SIMULATION*, *78*(5), 293–303. doi:10.1177/0037549702078005551

Institute for Transport Studies. (2003). *Toolkit for the Economic Evaluation of World Bank Transport Projects.* (Final report). ITS, University of Leeds in association with Transport Ltd.

Lalesco, T. (1987). *La géométrie du triangle*.

Marcucci, E. (2011). *Scelte di trasporto e modelli a scelta discreta*. FrancoAngeli. Recuperato da https://www.francoangeli.it/ricerca/scheda_libro.aspx?CodiceLibro=367.68

Nagel, K., Kickhoefer, B., & Winter, M. (2015). Reverse-engineering of the rule-of-half in order to retrofit an assessment procedure based on resource consumption. *Zeitschrift fuer Verkehrswissenschaft*, *86*(3). Recuperato da https://trid.trb.org/view/1398862

Neuburger. (1971). User Benefit in the Evaluation of Transport and Land Use Plans. *Journal of Transport Economics and Policy*, *5*(1), 52–75.

OAFTL. (2011). *Analisi Costi e Benefici, analisi Globale e ricadute sul territorio* (No. Quaderno N. 8, Osservatorio per l'Asse Ferroviario Torino-Lione).

OAFTL. (2019). *Rassegna delle valutazioni e dei commenti di accademici, tecnici ed esperti* (No. 14). Quaderni dell'Osservatorio per l'Asse Ferroviario Torino-Lione.

Pasquali, F. (2019, marzo 24). TAV Torino-Lione: analisi costi-benefici a confronto. *Scienza in rete*. Recuperato ottobre 4, 2019, da https://www.scienzainrete.it/articolo/tav-torino-lione-analisi-costi-benefici-confronto/fabio-pasquali/2019-03-24

Percoco, M., & Tavoni, M. (2019, febbraio 15). Se l'analisi della Tav parte da ipotesi arbitrarie. *LaVoce.info*.

Rand Europe, & WSP. (2018). *Travel demand: an evidence review*. Department of Transport.

Raney, B., Cetin, N., Völlmy, A., Vrtic, M., Axhausen, K., & Nagel, K. (2003). An Agent-Based Microsimulation Model of Swiss Travel: First Results. *Networks and Spatial Economics*, *3*(1), 23–41. doi:10.1023/A:1022096916806